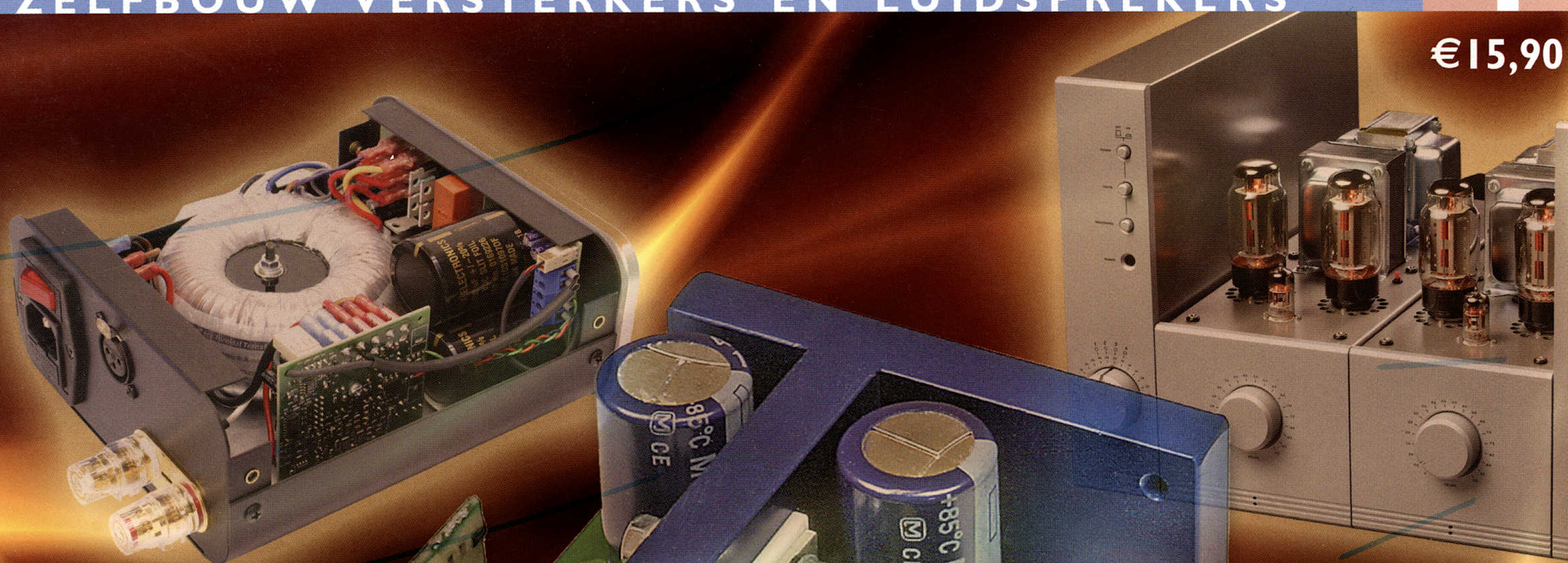
elektuur

audio

special 1

ZELFBOUW VERSTERKERS EN LUIDSPREKERS

€15,90



Acht versterkers voor zelfbouw o.a.:

- 100W monoblock buizenversterker
- Triode balans buizenversterker
- Mini klasse-D eindversterker
- 100W klasse-A halfgeleiderversterker

Acht luidsprekers voor zelfbouw o.a.:

- Golden Ratio Monitor
- Speaker& Co Mini Reference
- Extremon
- Gränna

Hoe voed je audioschakelingen?



Audio zelfbouw springlevend

Het is precies 10 jaar geleden dat Elektuur voor het laatst een Audio Special uitbracht. We zijn dat ook verheugd om een oud concept nieuw leven in te blazen. Immers Audio zelfbouw is anno 2006 nog steeds springlevend. Dat blijkt uit de vele zelfbouw websites en forums op het internet. Ook de door Elektuur georganiseerde audio masterclasses onderstrepen dit.
Deze feiten geven aan dat er een grote groep audio do-it-yourself'ers actief is. Vandaar dit magazine om deze doelgroep ter wille te zijn, want er is grote behoefte aan nabouwbare ontwerpen.

Het is de bedoeling om ieder jaar een special uit te brengen en een platform te creëren voor zowel zelfbouw liefhebbers als de leveranciers in Nederland en België. Of dat lukt, hangt voor een groot gedeelte af van u, als lezer. Dus opbouwende kritiek en/of nieuwe bouwontwerpen zijn zeer welkom.

Wat treft u aan in dit nummer? In ieder geval nieuwe niet eerder gepubliceerde internationale ontwerpen. Deze zijn van internationale allure en komen ondermeer uit Belgie, Frankrijk en Japan. In totaal acht luidsprekers, zes buizenversterkers en twee halfgeleider versterkers. Door de brede opzet is er voor elk wat wils.
Zo wordt een klasse-A halfgeleiderversterker gepresenteerd die maar liefst 100-Watt kan leveren met een onmeetbaar lage vervorming en een zeer grote bandbreedte. Een luidsprekerontwerp dat vanaf zo'n 20Hz tot ver boven het hoorbare bereik een zo groot mogelijk frequentiebereik kan weergeven, dit zonder veel vervorming. En als toetje een achtergrondartikel over hoe audio-schakelingen het beste kunnen worden gevoed.

Tot slot gaat speciale dank uit naar ir. Sander Sassen en ir. Menno van der Veen voor de deskundige redactie.

We wensen u veel leesplezier!

Ferdinand te Walvaart

Elektuur Special
Audio 1, December 2006

BUIZENVERSTERKERS

LUIDSPREKERS

HALFGELEIDERVERSTERKERS

Double Ended 6C33-B stereo buizenversterker

met slechts één uitgangstransformator

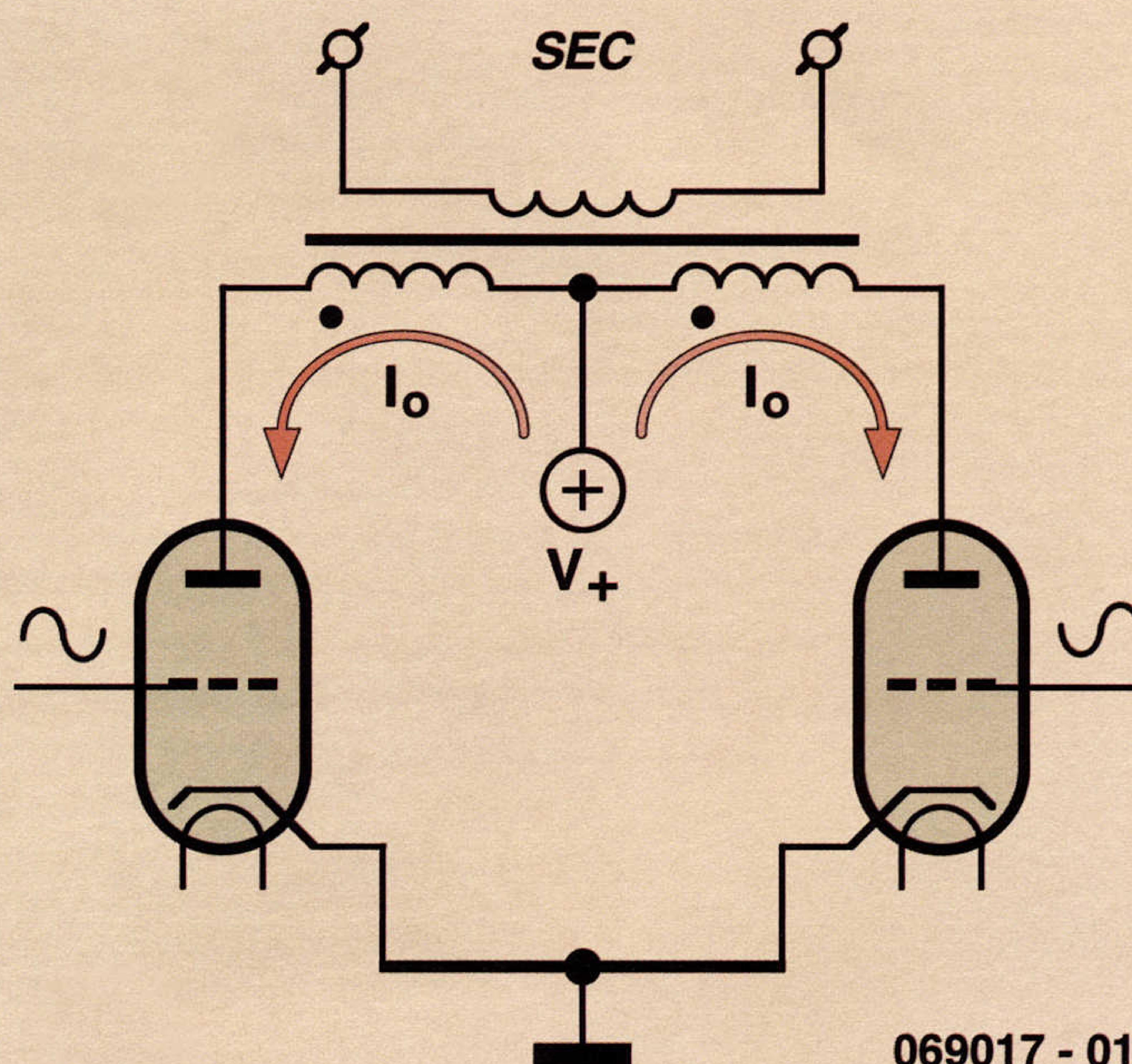
DOOR ARI POLISOIS

Ari Polisois uit Frankrijk en Giovanni Mariani uit Italië presteren het om met een minimum aan componenten een hoogwaardige versterker te maken zonder koppelcondensatoren en slechts met één uitgangstransformator. Ze spelen in dit ontwerp met magnetische velden in de uitgangstransformator waardoor links en rechts toch volledig gescheiden blijven.

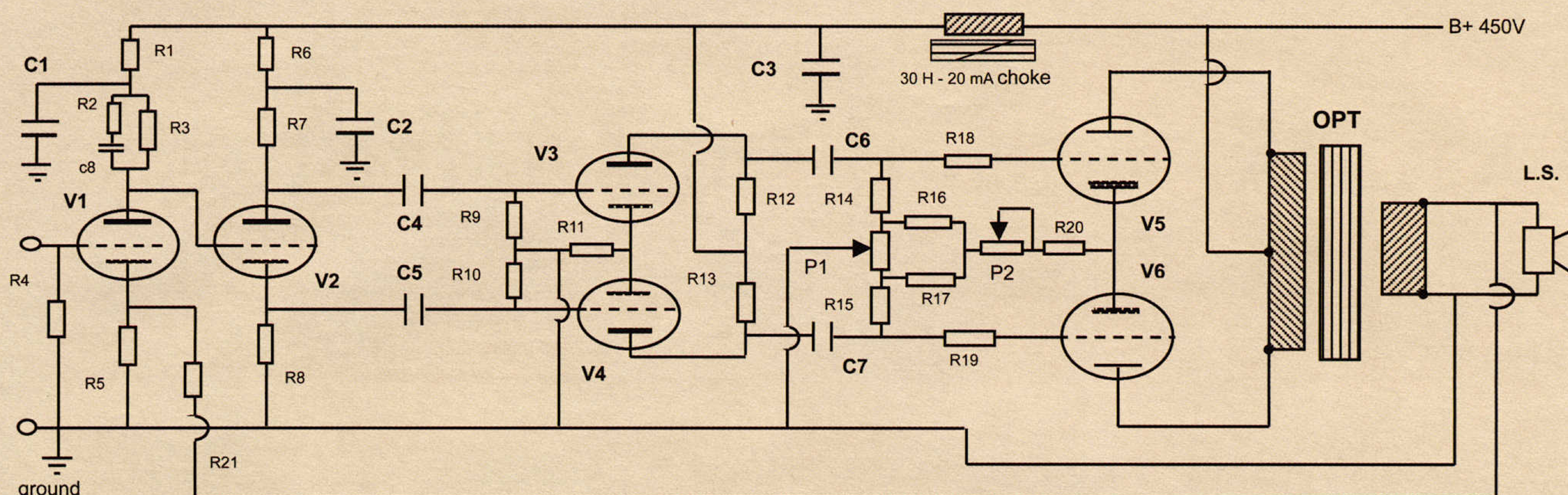
Een Single Ended versterker kan niet veel uitgangsvermogen leveren, het rendement is laag. Daar zijn een paar redenen voor. In de eerste plaats kunnen in balans geschakelde eindbuizen veel verder uitgestuurd worden dan in een single ended circuit. In SE is daardoor slechts een kwart van het maximale balansvermogen haalbaar. Een andere reden is dat een balans uitgangstrafo veel kleiner is dan een SE trafo met evenveel uitgangsvermogen. Bij SE moet de kern, naast het magnetische veld van een constante ruststroom, ook nog magnetische ruimte voor de wisselspanning hebben. Hierdoor is slechts de helft van de magnetische uitsturingsruimte voor het werkelijke muzieksignaal beschikbaar. Daarom hebben SE versterkers met grote uitgangstrafo's toch meestal een gering uitgangsvermogen, vaak minder dan 10 Watt. Je kunt voor meer vermogen hoge voedingsspanningen gaan toepassen (bijvoorbeeld 1 kV) met eindbuizen als de 845 of 211. Zulke versterkers eisen echter een bijzondere schakeling met heel kritische circuits en componenten. Met de versterker van dit artikel verdwijnen de hierboven genoemde nadelen. Hier worden nieuwe uitvindingen gepubliceerd die zorgen voor zowel efficiënte als hoogwaardige SE versterking. Er wordt niet ingegaan op theoretische achtergronden, maar we bespreken een goed na te bouwen versterker die het grote vermogen (25 Watt per kanaal) heeft van een balansversterker terwijl de typerende warmte en zachtheid van SE versterkers volledig gehandhaafd blijven. Dit laatste komt door het typische SE vervorminggedrag waarbij de 2-e harmonische vervorming dominant is (bij balansversterkers is vooral de 3-e harmonische vervorming het grootst). De specificaties en eigenschappen worden besproken en adviezen gegeven voor zelfbouw. Als men daarmee veel ervaring heeft, dan spreekt de inhoud van dit artikel voor zich. Is men minder ervaren, dan zijn voorzichtigheid en geduld een absolute vereiste. Dan kan men beter op een eenvoudiger niveau starten en een kant en klare kit kopen, zoals onze "Simplex"; zie 1).

Single Ended kan leren van Balans

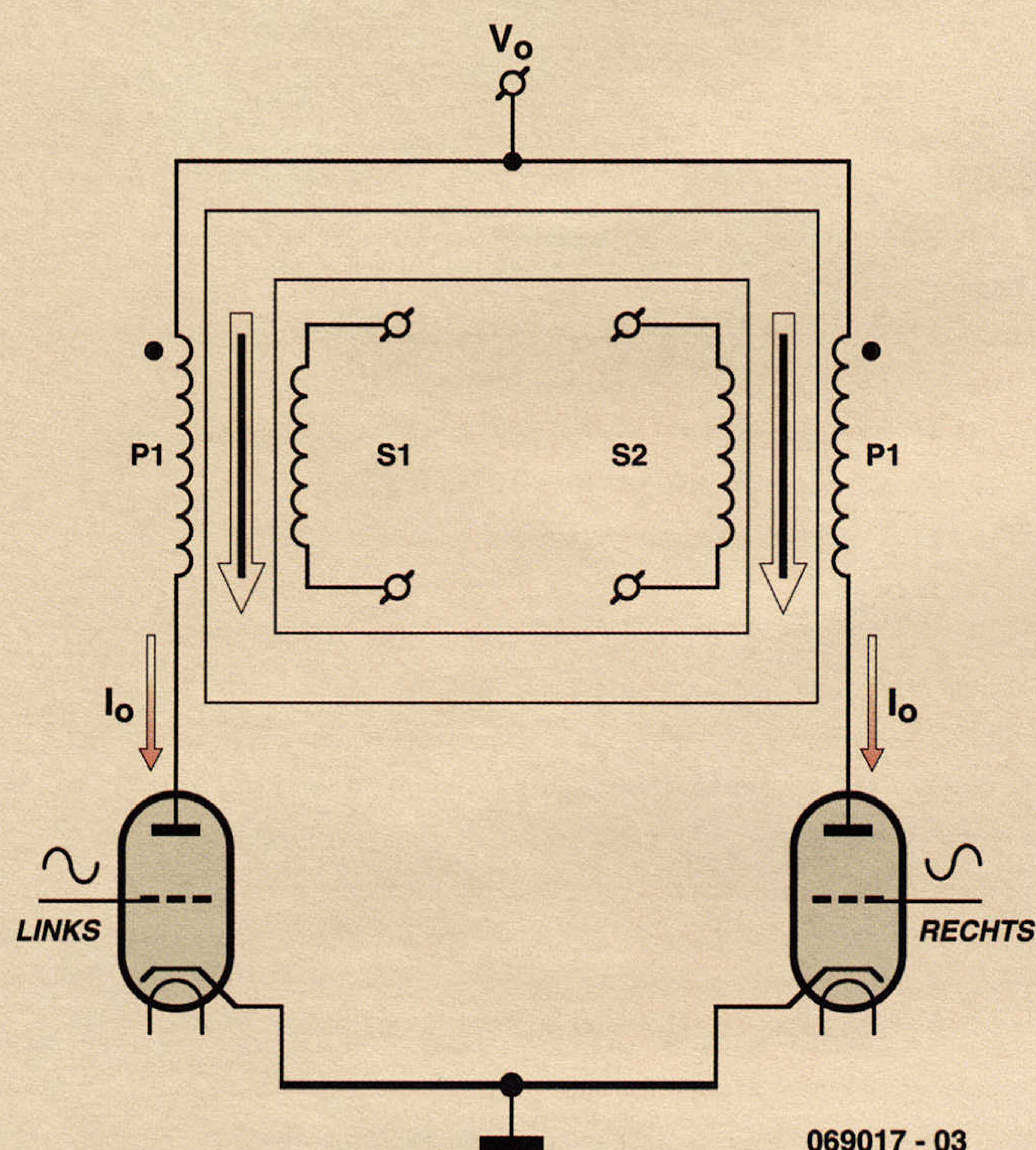
De uitgangstransformator is de grootste bottleneck in een SE versterker. Wil je veel vermogen, dan wordt die trafo extra groot en zwaar. De hoofdoorzaak ligt in de



FIGUUR 1: De ruststromen Io heffen in de kern elkaars magnetisch veld op.



FIGUUR 2: Algemene opzet van de Williamson versterker.



FIGUUR 3: Double Ended SC-SCC-SET concept. De ruststromen Io in linker en rechter kanaal maken in de rechthoekige kern magnetische velden (aangegeven met dikke pijlen) die elkaar opheffen. Door de wisselspanningen in linker en rechter kanaal in tegenfase aan te sturen heffen de lage frequenties elkaar niet op.

DC magnetisatie van de kern doordat de ruststroom van de eindbuis door de primaire wikkeling loopt. Als we dat effect nu eens zouden kunnen opheffen, dan komt de magnetische uitsturingsruimte volledig ter beschikking aan het audiosignaal. Bij balansversterkers is deze DC magnetisatie slim opgeheven doordat de gelijkstromen door de twee primaire helften elkaar magnetisch compenseren, waardoor het netto veld in de kern nul wordt. De magnetische ruimte in de kern is nu volledig beschikbaar voor de wisselspanningen van de te versterken muziek. Zie figuur 1 voor meer details. Om te voorkomen dat de wisselspanningen over de twee helften van de primaire elkaar ook zouden opheffen, worden de eindbuizen op hun stuurroosters door middel van een fasedraaier in tegenfase aangestuurd. Als de ene buis duwt (push) trekt (pull) de andere. In de uitgangstransformator zien we in principe één secundaire wikkeling (eventueel met aftakkingen), gekoppeld aan de luidspreker. Om aan deze eisen van techniek te voldoen treffen we in een stereo balansversterker per kanaal de volgende secties aan:

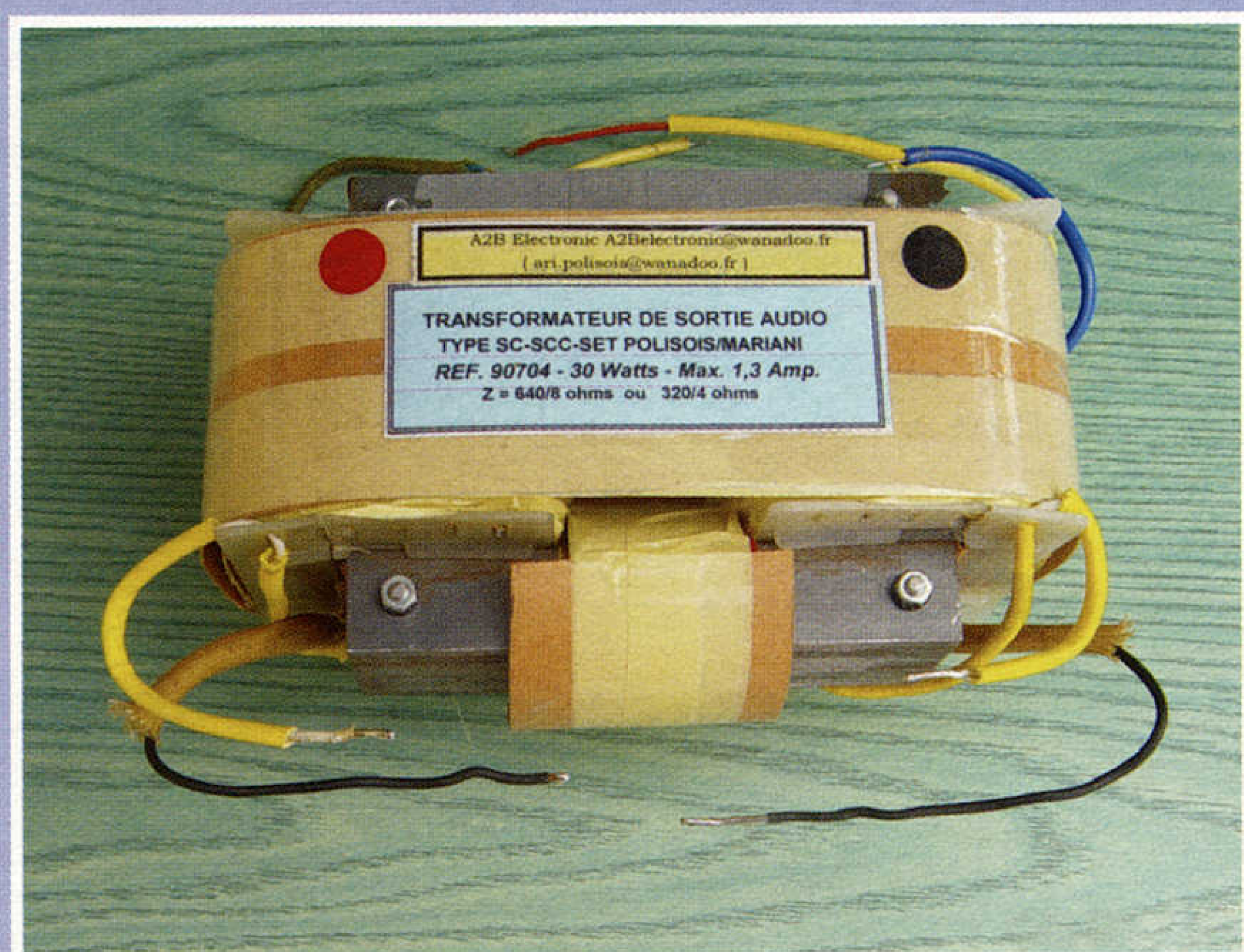
1) spanningsversterking (één of twee buizen)
2) fasedraaier
3) stuurtrap voor de eindbuizen
4) 2 of 4 of meer eindbuizen
5) een uitgangstransformator.

Een goed voorbeeld van deze standaard opzet is de beroemde Williamson versterker, waarvan in figuur 2 één kanaal getekend staat.

De essentie van de uitvinding

Maak een stereo SE versterker waarin per kanaal de secties 1, 3 en 4 van een balansversterker worden toegepast. Een fasedraaier wordt niet gebruikt. Maak nu een enkelvoudige uitgangstransformator die door het linker en rechter kanaal gezamenlijk wordt gebruikt, zie 2). In figuur 3 staan de details van zo'n speciale double ended uitgangstransformator getekend, terwijl de technische uitvoering in foto 1 te zien is. Hierin zitten twee volledig gescheiden gelijke primaire wikkelingen die magnetisch gezien los aan elkaar zijn gekoppeld. Ze zitten zo ver mogelijk van elkaar, aan weerszijden van een C- of UI-kern. Ook kan hiervoor een drie fase transformator worden gebruikt waarbij het middelste "been" is verwijderd. Per primaire wikkeling, er direct bovenop, is een secundaire wikkeling aangebracht. Er zijn dus twee secundaire wikkelingen, waarbij de magnetische koppeling groot is tussen elke secundaire met zijn bijbehorende primaire. De magnetische koppeling tussen de twee secundaires onderling is minimaal omdat deze ook zo ver mogelijk van elkaar verwijderd zitten. Voor een groot hoogfrequent bereik moeten de primaire met bijbehorende secundaire in meerdere lagen worden geconstrueerd, zie 3).

Door nu de primaire wikkelingen onderling in tegenfase op hun eindbuizen aan te sluiten wordt de magnetisatie van de gelijke ruststromen door de twee SE eindbuizen in de kern precies opgeheven. Voor wisselspanningen ziet elke eindbuis zijn eigen primaire en bijbehorende secundaire wikkeling. Heel verzwakt, want er is een losse magnetische koppeling tussen de linker en rechter kanalen, wordt het andere kanaal enigszins gezien. Dit geeft aanleiding tot verwaarloosbare links-rechts overspraak.



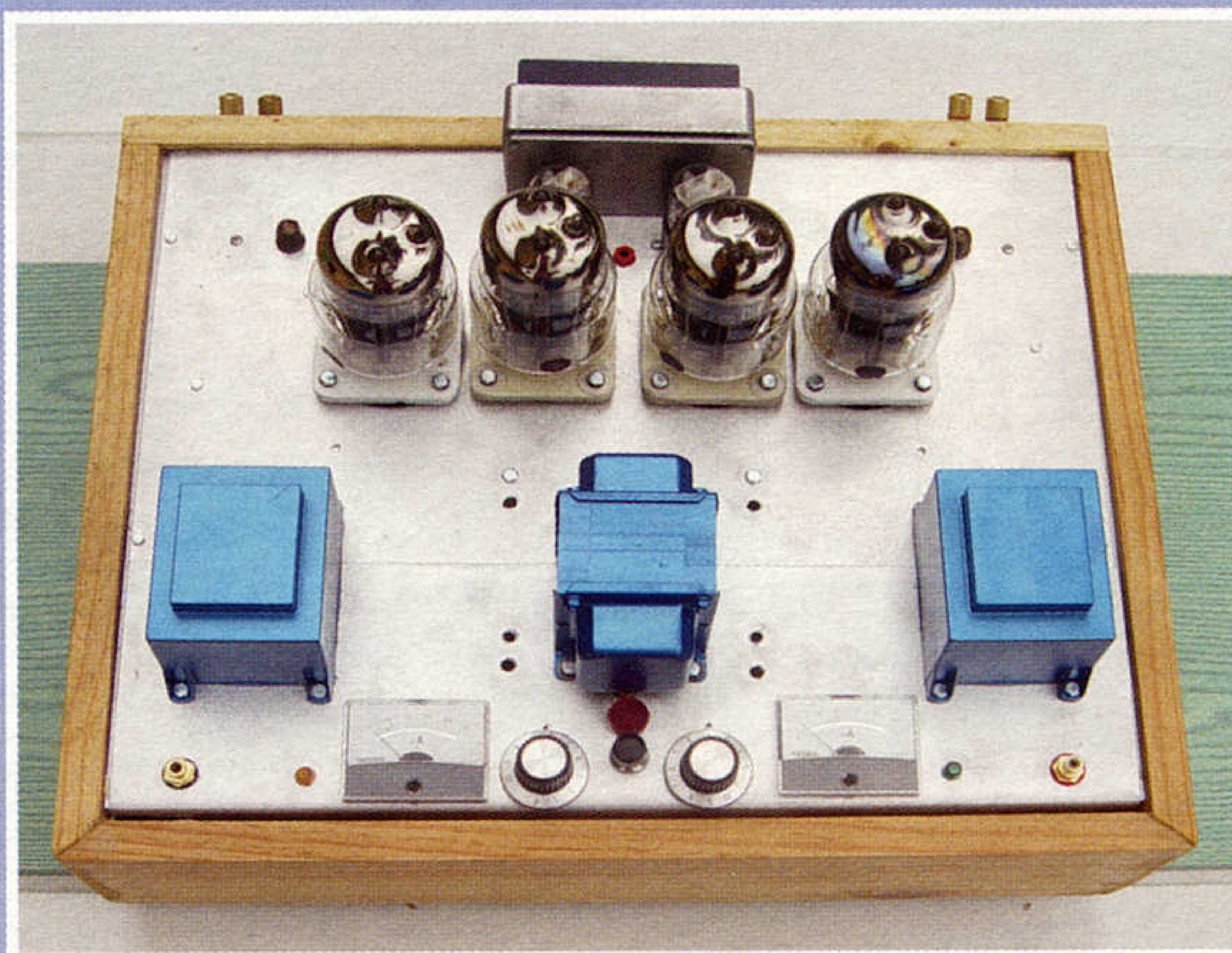
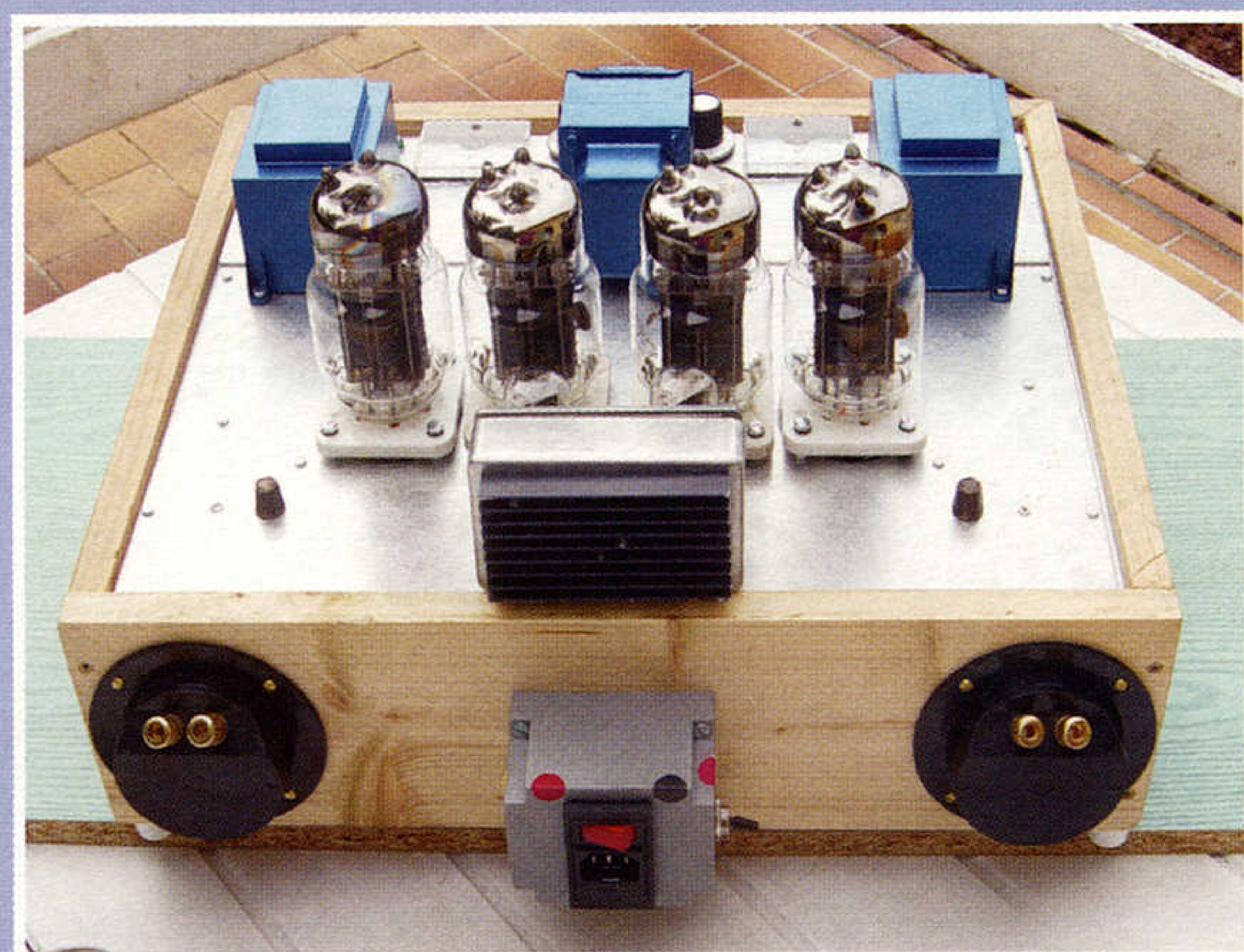


foto 1: De nieuwe SC-SCC-SET prototype uitgangstransformator

foto 2: bovenaanzicht versterker



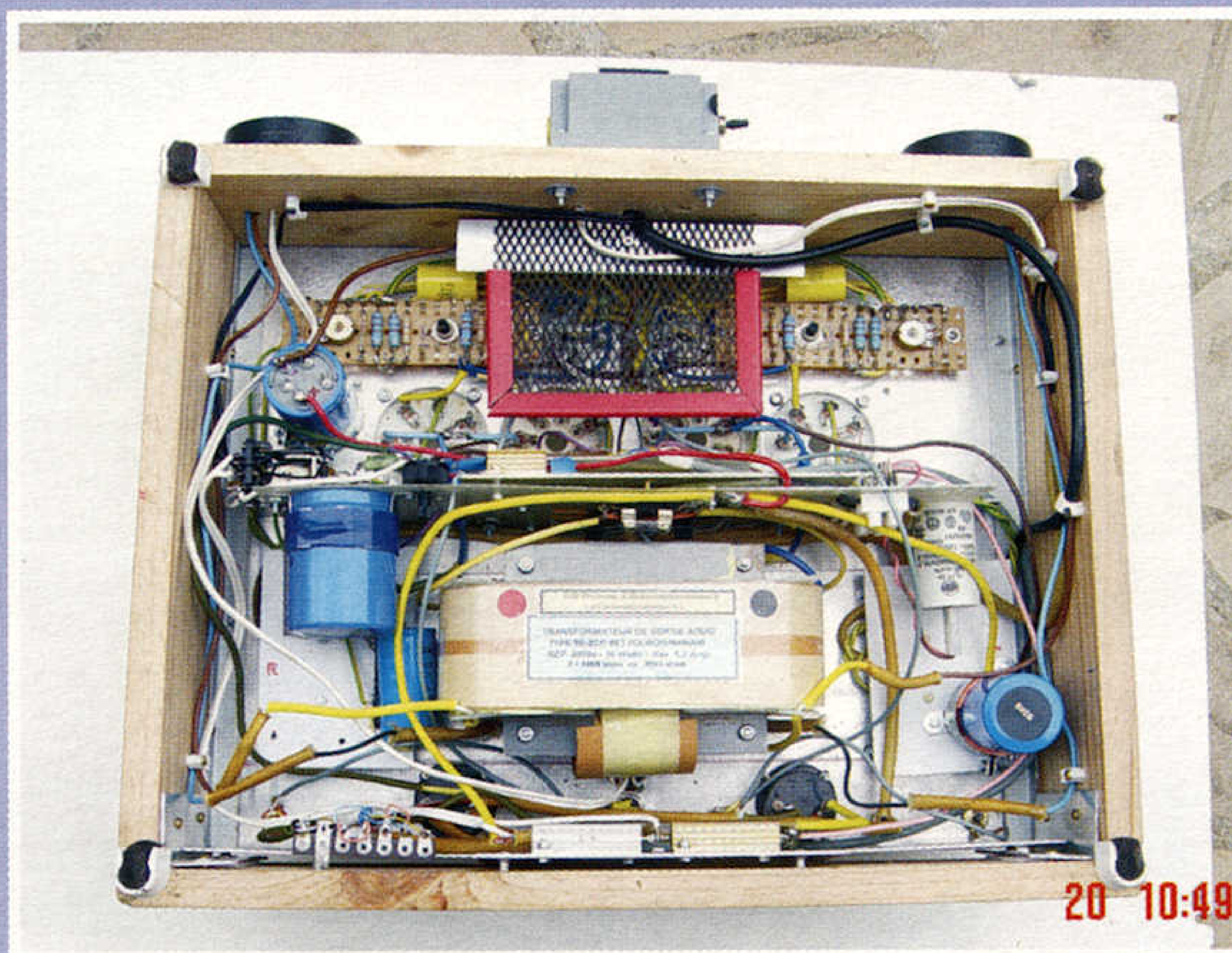


foto 3: achteraanzicht versterker

foto 4: binnenkant van de versterker

In de double ended versterker wordt voor beide kanalen dus slechts één uitgangstransformator gebruikt, die ik de werknaam SC-SCC-SET gegeven heb. Deze trafo kan nu klein zijn (vergelijk met balans) en dat bespaart aanzienlijk in de kosten.
Werkt deze uitvinding? Ja, het werkt en totaal onverwacht komen er zelfs nog extra voordelen om de hoek kijken. Ik heb de nodige prototypes gebouwd en onlangs leverde ik zo'n nieuwe double ended versterker af (zie foto's 2-4). Na de installatie van de versterker bleven we ruim vier uur achter elkaar luisteren, zonder enig verschijnsel van luistermoeheid. Vooral dit laatste vertelt hoe goed de versterker klinkt en je volledig ontspannen laat genieten. Alle soorten muziek passeerden de revue: Jazz, Weense walzen, opera, viool sonates, koren. We waren totaal onder de indruk van de geluidskwaliteit. Opvallend was het intensieve vergelijk met CD's van Queen tussen een halfgeleider versterker en mijn nieuwe exemplaar: een wereld van verschil met veel meer details in het geluidsbeeld dan we ooit gehoord hadden.

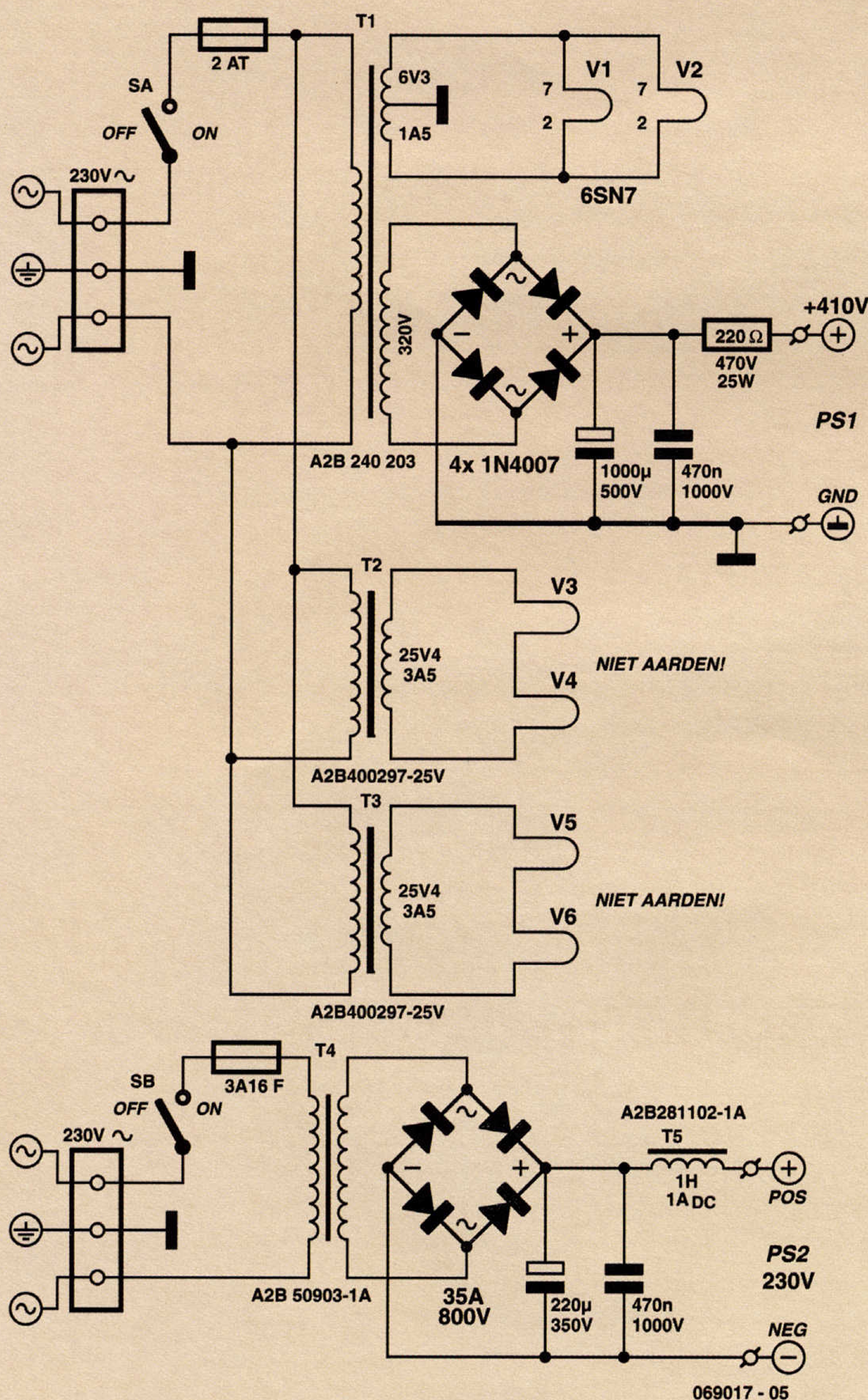
Verbeterde laagfrequent weergave

Deze nieuwe double ended uitgangstransformator is ontwikkeld in nauwe samenwerking met Giovanni Mariani (Chief Enginineer R&D Graaf versterkers, Modena, Italie). Hij wees me er op dat de nieuwe transformator nog beter zou werken als de links-rechts signalen in tegenfase door de versterkers gevoerd zouden worden. In één van de kanalen wordt daartoe bijvoorbeeld met behulp van een ingangstransformator of op-amp schakeling de fase omgedraaid. De laagfrequente signalen zijn in de meeste stereo opnames links en rechts volledig in fase. Door deze omdraaiing gaan de bassignalen in de kern magnetisch ook in fase lopen en doven ze elkaar niet uit. Ik geloofde hem eerst niet, maar metingen wezen uit dat hij gelijk heeft. In fase ligt het laagfrequent -3dB punt bij 40 Hz, terwijl deze frequentie daalt naar 5 Hz bij de versterkeringangen in tegenfase. Het hoogfrequent bereik trekt zich niets van deze faseomdraaiing aan, want dat wordt hoofdzakelijk door de lekinductie per trafohelft bepaald.

De invloed van de ruststroom

In figuur 4 van de versterker is duidelijk zichtbaar dat koppelcondensatoren afwezig zijn. Dit kan omdat er van twee onafhankelijke voedingen gebruik wordt gemaakt. Deze schakeling noem ik de Direct Gekoppelde Gemoduleerde Bias. Bij buis V1 en V2 zijn instelpotentiometers getekend. Hiermee kan de ruststroom door de eindbuizen worden ingesteld. Met twee metertjes over de kathode weerstanden van 1 Ohm onder V3-V4 en V5-V6 kan de grootte van de ruststromen nauwkeurig worden afgelezen. De effectieve hoogspanning over de 6C33 eindbuizen bedraagt 230 V. Elke eindbuis kan maximaal 60 Watt anodedissipatie verwerken. Daardoor mag de maximale ruststroom per buis niet groter worden dan 260 mA. Het is beter om aan de veilige kant te blijven, dus een lagere ruststroom is aan te bevelen. Anders worden de eindbuizen erg heet en neemt hun levensduur snel af. Ik testte ruststromen in het bereik van 100 tot 200 mA. Het effect was dat de basweergave danig veranderde. Dit is eenvoudig te verklaren door te kij-

figuur 4: audiodeel van de stereo "Duplex" met enkelvoudige double ended uitgangstransformator.



ken naar de verandering van de dempingsfactor bij een andere ruststroom. Hoe hoger de ruststroom is, des te steiler lopen de buiskarakteristieken en des te groter is de effectieve dempingsfactor. Door de ruststroom te variëren kan men dus de versterker optimaal op een luidspreker afstemmen en bijvoorbeeld voorkomen dat de bas ongecontroleerd gaat klinken.
De details van de voeding van de versterker staan in figuur 5. De trafo's T1-3 staan op het hoofdchassis, terwijl de voeding voor de eindbuizen in een afzonderlijke kast is geplaatst, zie foto 5.

Meetresultaten

De belangrijkste meetresultaten van deze versterker luiden: 25 Watt uitgangsvermogen per kanaal; -3dB frequentiebereik van 5 Hz tot 28 kHz (ingangssignalen in tegenfase) en 40 Hz tot 32 kHz (ingangssignalen in fase). De totale harmonische vervorming gemeten bij 1 kHz bedraagt 1% bij 10 Watt en 5 % bij 25 Watt uitgangsvermogen.

Constructie details uitgangstrafo

De double ended uitgangstrafo is niet gemakkelijk te bouwen. Maar voor de doorzetter en voor niet commerciële toepassing geef ik hier de belangrijkste details. De kern bestaat uit drie fase kernblik waarvan het middelste "been" is weggeknipt. De lamellen zijn 0,5 mm dik, de buitenafmetingen bedragen 125 bij 85 mm, de stapelhoogte is 51 mm, staalsoort is grain oriented

figuur 5: De voeding T1-T3 voor de 6SN7 stuurbuizen V1-2 en de gloeidraden van de vier 6C33 eindbuizen is op het hoofdchassis geplaatst. Per eindbuis zijn de twee gloeidraden in serie geschakeld. De hoogspanningsvoeding rondom T4-5 voor de eindbuizen V3-6 zit in een afzonderlijke kast met eigen netschakelaar.

(GOSS). Op deze manier ontstaat een kern met een effectief dwarsdoorsnede oppervlak $A_{SQ} = 1275\ mm^2$. Omdat het middelste kernbeen afwezig is, is er veel wikkelruimte beschikbaar. Om de twee buitenste benen worden passende kokers geplaatst met primair per koker $N_p = 1072$ windingen in 7 lagen in serie. De primaire draaddiameter bedraagt $dia_p = 0{,}75$ mm. Tussen de primaire wikkelingen zitten 6 secundaire wikkelingen met in totaal $N_s = 120$ windingen met een draaddiameter van $dia_s = 1{,}5$ mm. De transformatieverhouding per sectie N_p/N_s bedraagt 8,93. Sluiten we secundair een luidspreker van 8 Ohm aan, dan bedraagt de primaire impedantie $Za = (N_p/N_s)^2*8 = 638$ Ohm. De interne draadweerstanden bedragen in mijn trafo per sectie: $R_{ip} = 9{,}7$ Ohm en $R_{is} = 0{,}32$ Ohm.

Het dikke primaire draad staat toe dat er een ruststroom van 1 A mag lopen. Per kanaal staan twee eindbuizen parallel en daarom zal de maximale ruststroom zich rondom 400 mA bewegen. De kans dat de primaire wikkeling door oververhitting doorbrandt is dus uiterst gering. In plaats van een drie-fase kern kan ook een C-kern of UI-kern worden toegepast, maar dan is de beschikbare wikkelruimte kleiner en kan het wringen worden. Het aantal windingen is ruim opgezet, N_p verlagen tot 900 geeft nog steeds goede resultaten en ook een kleinere primaire draaddiameter van 0,5 mm zal nog goed voldoen. De massa van de complete transformator bedraagt ongeveer 8 kg.

De transformator is heel tolerant voor misaanpassingen. Of je hem nu belast met 4 Ohm secundair (Z_a wordt 319 Ohm) of 8 Ohm, de versterker en trafo blijven uitmuntend functioneren. Het frequentiebereik zal wel wijzigen; zie 5) voor meer details.

Conclusie

Met deze versterker kunnen heel interessante experimenten worden gedaan, zoals instelling van de ruststromen (dempingsfactor) en fase of tegenfase aan de ingang (basweergave). Maar onder alle condities openbaart de versterker zich als een unieke versterker die alle kenmerken van het sublieme single ended geluid in zich draagt. Van overspraak tussen links en rechts hebben we nooit iets kunnen horen, alhoewel het door de enkelvoudige uitgangstransformator wel meetbaar was (-20dB of minder). Het geluidsbeeld is uitgesproken aangenaam en precies, van koel tot warm en zeer doortekend dynamisch.

Bronnen en opmerkingen:

1) *Schema's kunnen op de volgende sites worden gevonden: www.audiodesignguide.com, kijk naar D.C.M.B.; www.plitron.com ; of neem rechtstreeks contact op met (in Engels) ari.polisois@wanadoo.fr*
2) *SC-SCC-SET betekent: Self Compensated - Stereo Common Circuit - Single Ended Transformer. Deze nieuwe transformator is gepatenteerd door Ari Polisois en Giovanni Mariani, INPI patent 03 10898. De techniek is gepresenteerd op de AES conventie 2006 in Parijs. Op de AES conventie 2005 in Barcelona werd de eerste generatie van de zichzelf compenserende transformator gepresenteerd, INPI patent 01 02457*
3) *Tenminste 5 primaire en 4 secundaire wikkelingen*
4) *Omdat per kanaal twee 6C33-B eindbuizen parallel staan (met hun gloeidraden in serie), bedraagt de inwendige effectieve buisweerstand 60 Ohm, zie 5). Als dan de signalen in tegenfase aan de versterker worden aangeboden, treedt duidelijke basversterking op. Hiervoor kan aan de ingang een fase splitter transformator (Sowter type 8920-3603-8584) worden gebruikt. Ook kan de A2B model 3B bassboostbox (zie foto 5, bestel bij A2Belectronic@wanadoo.fr) worden gebruikt. Voor lager basniveau kan de CD speler rechtstreeks op de ingangen worden aangesloten. In dat geval moet de luidspreker van bijvoorbeeld het linker kanaal in omgekeerde fase op de secundaire wikkeling worden aangesloten.*
5) *Ir. Menno van der Veen: "Moderne High End buizenversterkers"; Segment, ISBN 90-5381089-7*
6) *Bestelling transformatoren bij A2Belectronic@wanadoo.fr*
7) *Voor meer informatie: Ari.polisois@wanadoo.fr*

Op 10 jarige leeftijd startte **Ari Polisois** zijn elektronica carrière met de bouw van een kristalontvanger en bouwde later de beroemde Mullard versterker. In Parijs volgde hij de Radio TV school T.S.F. onder leiding van Lucien Crétien. In Milaan studeerde hij op de universiteit economie en handel waarna hij als exportmanager en leidinggevende werkzaam was. Na zijn pensionering vatte hij zijn oude buizenhobby fulltime op, ontwikkelde nieuwe versterkers zonder koppelcondensatoren en met speciale uitgangstransformatoren. Op dit vlak verwierf hij 5 patenten bij het Franse INPI instituut.

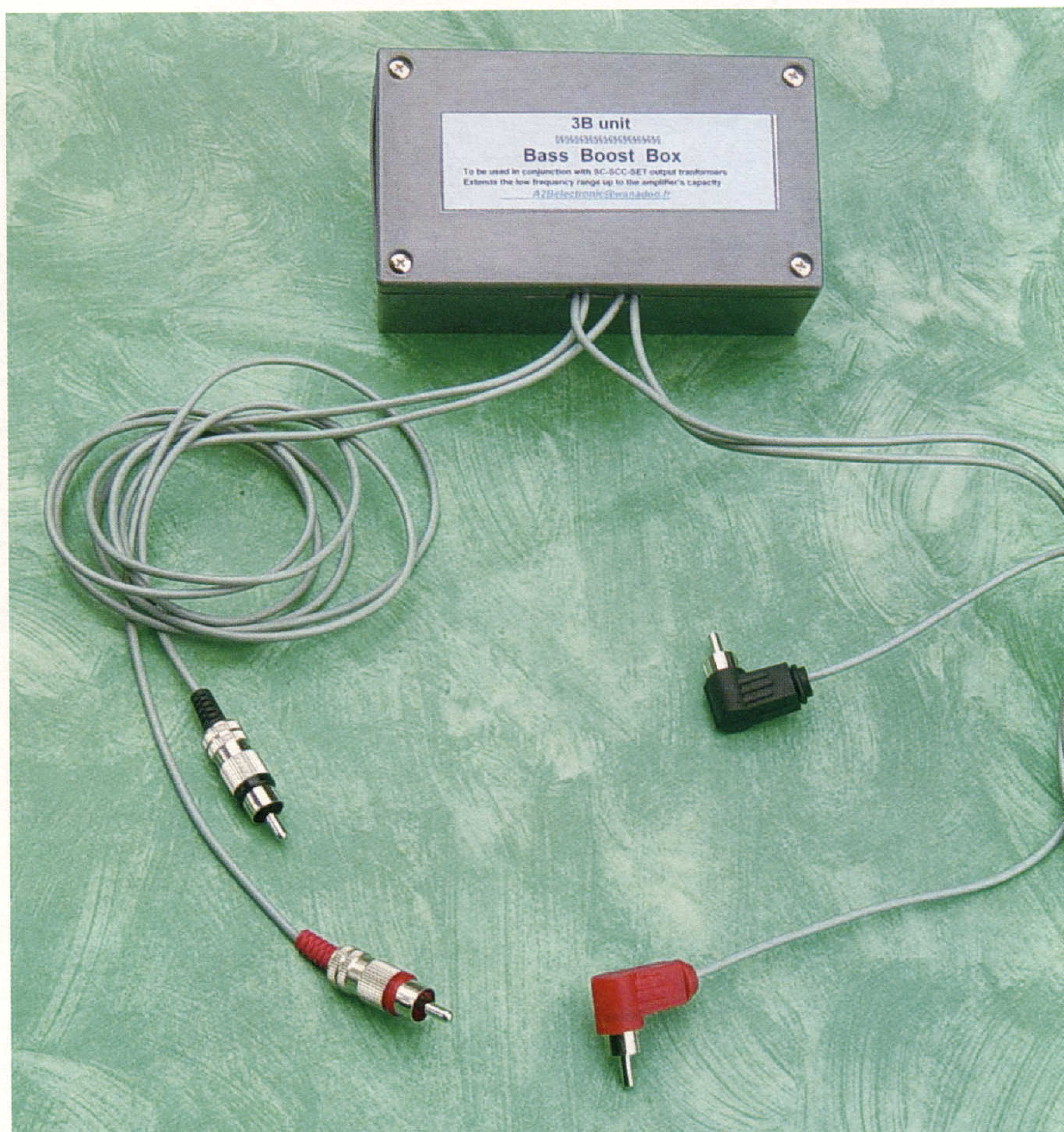


foto 5: de A2B bassboost transformator



HQSE 12 Single Ended high-end buizenversterker met de 300B

DOOR BERT FRUITEMA

De 300B triode is over de hele wereld beroemd. Vooral in Japan zijn veel versterkers met deze buis uit 1931 ontwikkeld. Bert Fruitema bespreekt in dit artikel zijn fraaie HQSE 12 monoblock versterker, waarmee zeer breedbandig 9,5 W uitgangsvermogen kan worden bereikt, terwijl alle componenten gewoon in Nederland verkrijgbaar zijn.

Het Single Ended principe is al heel oud. SE staat voor enkelzijdig en deze opbouw is terug te vinden in de allereerste radio's en versterkers met elektronenbuizen. Velen herinneren zich nog de goede muzikale kwaliteit die vroeger uit opa's radio kwam; dat was SE! In het huidige vakjargon noemt men alle schakelingen SE waarin met één buis of transistor het volledige signaal versterkt wordt. Er zijn veel SE-varianten, zoals Parallel Single Ended of Parafeed of Choke Loaded, maar die worden nu buiten beschouwing gelaten. Dit ontwerp gebruikt de oorspronkelijke basisschakeling. Hierin is de anode van de eindbuis, dit kan een triode of tetrode of pentode zijn, verbonden met één kant van de primaire wikkeling van de uitgangstransformator. De andere kant van de primaire wikkeling is aangesloten op de hoogspanningsvoeding. De eindbuis verwerkt het volledige audiosignaal en staat daarom in klasse A.

SE uitgangstransformator

Door de eindbuis en de primaire wikkeling loopt bij de klasse A instelling een constante ruststroom. Deze ruststroom kan de gesloten kern van een gewone uitgangstransformator verzadigen. Om dat te voorkomen moet in de kern van een SE-trafo een luchtspleet worden aangebracht. Omdat magnetisme slechter door lucht gaat dan door staal, werpt deze luchtspleet een barrière op voor de magnetische krachtlijnen van de ruststroom. In de kern blijft er dan genoeg magnetische ruimte over om de wisselspanningen van het geluid te verwerken. Dit betekent dat een SE transformator wezenlijk anders is geconstrueerd dan een balans uitgangstransformator. Sommige SE trafo's hebben primair ook nog een schermroosteraansluiting voor ultra lineaire toepassing. De eindbuis is in dat geval een tetrode of pentode.

De HQSE 12 versterker is opgebouwd met de speciale VDV-3035SE ringkern uitgangstransformator van Amplimo; zie 1) voor meer details. De primaire impedantie ervan bedraagt 3500 Ohm; secundair kunnen 4 en 8 Ohm luidspreker aangesloten worden. Voor de 300B

triode kunnen verschillende primaire impedanties R_a worden toegepast, variërend van 2500 tot 5000 Ohm, die elk een eigen klank hebben. Hier is gekozen voor R_a = 3500 Ohm, waarbij in wezen natuurlijk de correcte secundaire luidsprekerbelasting de primaire impedantie R_a bepaalt.
In de HQSE 12 wordt geen overall tegenkoppeling toegepast, want dat heeft deze versterker niet nodig. Over voldoende luidsprekerdemping hebben we ook niet te klagen met deze speciale ringkern uitgangstrafo. Het uitgangsvermogen dat we met één echte klassieke 300B in deze instelling kunnen bereiken bedraagt maximaal 10 W_{rms}.

Kenmerken van SE geluid

In een SE versterker vindt geen constructie plaats tussen sinusdelen, er wordt niets uit afzonderlijke helften samengesteld. Dit betekent dat het volledige audiosignaal in zijn geheel in één keer door de versterker en de trafo gaat. De tweede harmonische vervorming d_2 wordt dan 2 tot 2,5 keer zo groot als de derde harmonische vervorming d_3. Samen met het rond verlopende clippen bij de grenzen van de uitsturing zorgt dit voor een vriendelijk geluid voor het menselijke gehoor. Net voor het echte clippen verschijnt ook nog heel voorzichtig een typische asymmetrische uitstulping in de sinus. Audiofiel gezien wordt SE geroemd om de klank, beter gezegd de natuurlijkheid van de reproductie. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het relatief grote aandeel d_2 ten opzichte van d_3 vervorming.

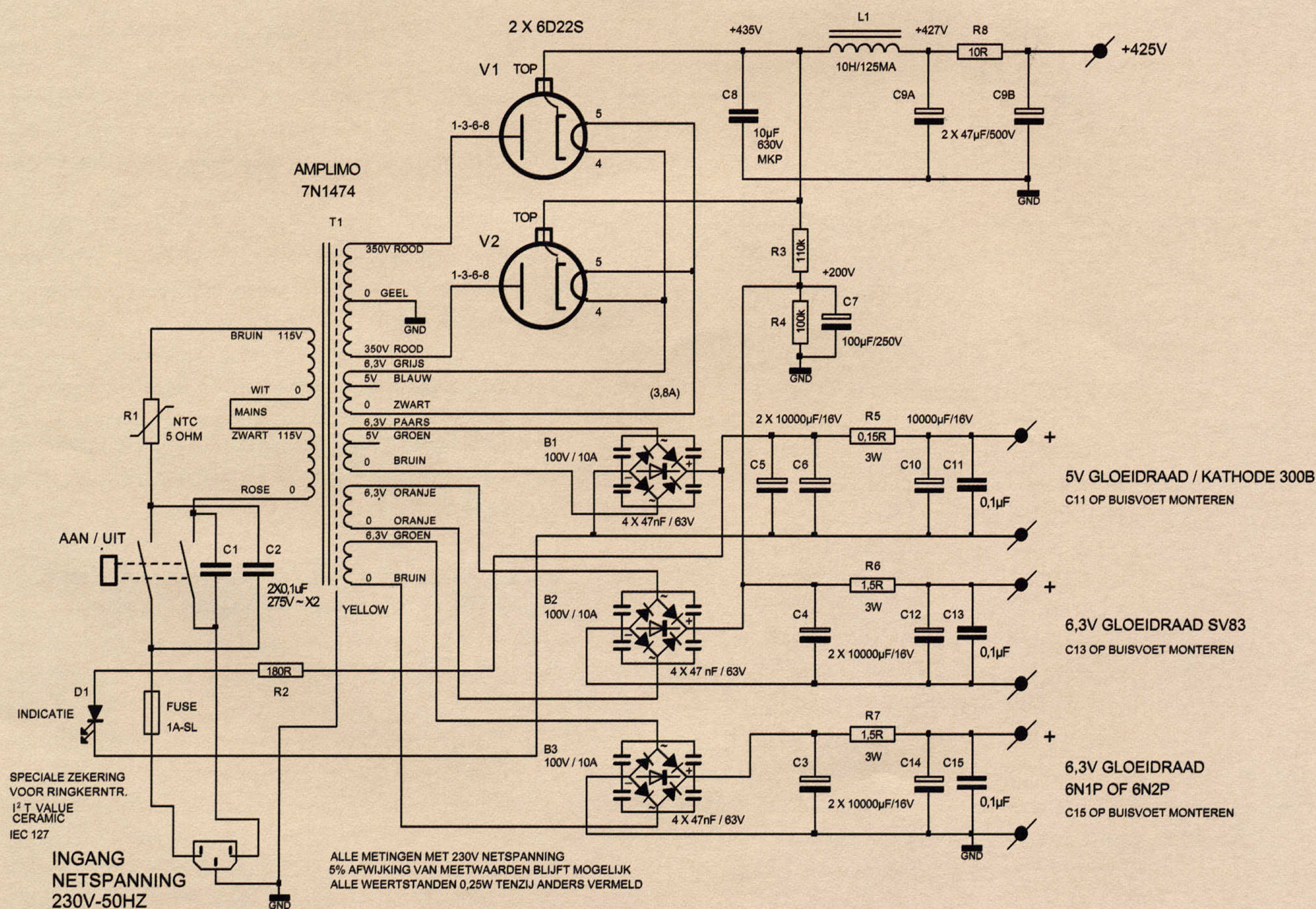
Audiofiele componenten

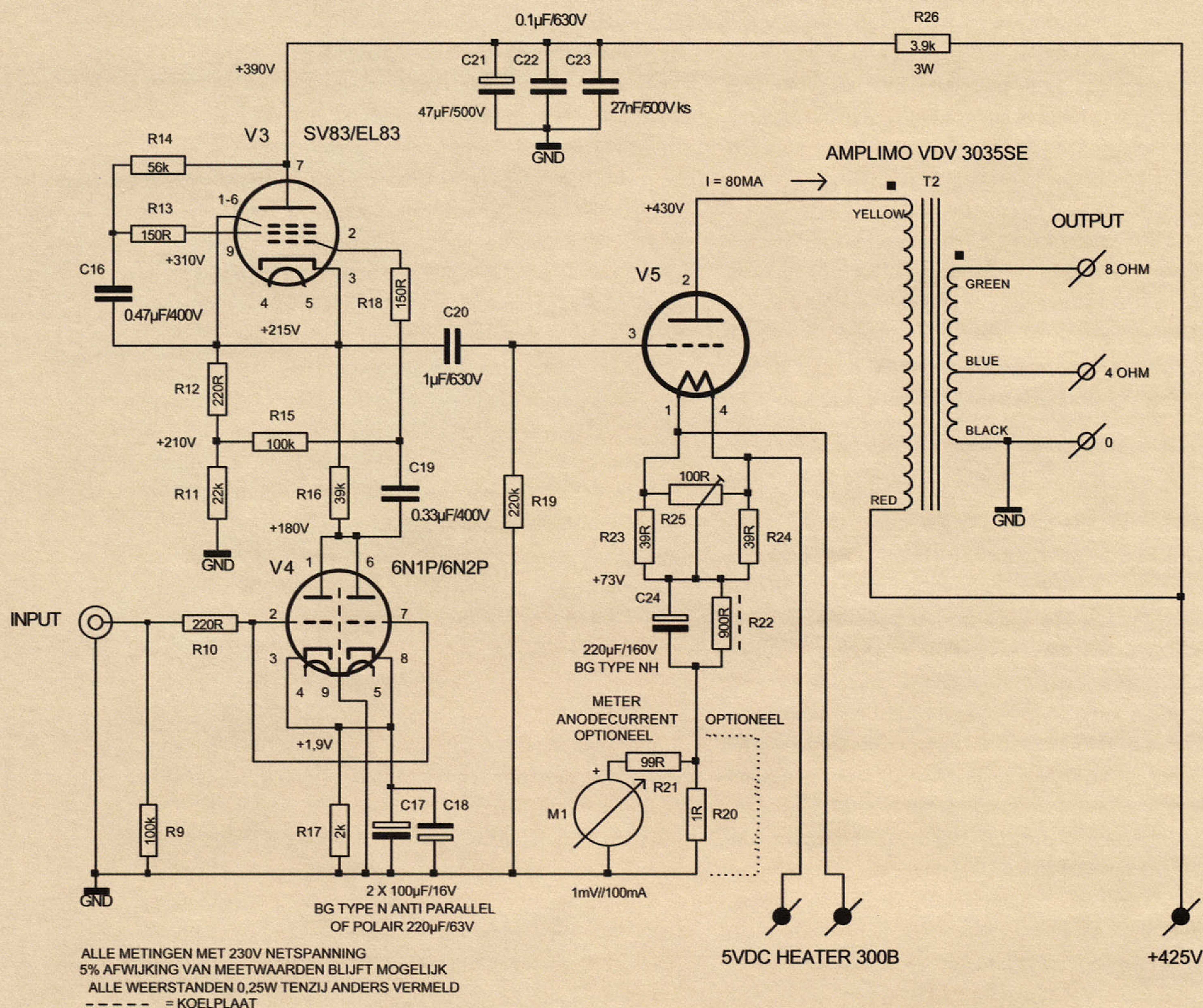
Voor de te gebruiken componenten in de HQSE 12 wordt goede audiofiele kwaliteit geadviseerd maar het hoeft niet persé, want de prijs ervan speelt natuurlijk ook een belangrijke rol. In de tekst en componentenlijst worden meerdere mogelijkheden genoemd. Probeer in ieder geval goede weerstanden te krijgen. MKP condensatoren (polypropyleen) zijn ook een heel goede keus. Uit eigen onderzoek en luistersessies bij diverse audioverenigingen is gebleken dat de kostbare 300B van Western Electric heel erg goed klinkt. Bij diezelfde testen bleek de goedkopere "winged c" 300B van Svetlana een goede tweede. Er zijn inmiddels veel meer 300B merken, dus ieder is vrij in de keuze. Naast nog enkele andere voordelen van ringkerntrafo's, hebben ze het grote voordeel dat voeding en uitgang op geringe afstand van elkaar gemonteerd kunnen worden, zonder dat ze elkaar bijten in de vorm van brom. Dit betekent echte vrijheid in de mechanische opbouw van de versterker.

Voeding

De aanvoer van lichtnetspanning en het schakelen daarvan moet zo gebeuren dat dit zo min mogelijk stoort. Achterin bij de voedingstrafo is de minste kans op EMC (Electro Magnetische Compatibiliteit) instraling in de versterkerschakeling. Het beste is om een goede afgeschermde netspanningkabel direct met de voedingstrafo te verbinden, maar dat is natuurlijk niet praktisch. Er is een goed alternatief; een mains-terminal met ingebouwde schakelaar en netzekering. Ook andere keuzes

figuur 1: schema van de HQSE 12 voeding





figuur 2: schema van de HQSE 12 versterker

zijn denkbaar, zoals 230V kabels die door de hele versterker lopen naar de netschakelaar aan de voorkant. Zo'n opbouw zal zeker nadelige instraling veroorzaken. Als de aan/uit schakelaar beslist op het front moet zitten, gebruik dan een relais of een verlengas. Zet om inbranden van deze schakelaar te voorkomen over de 230VAC schakelcontacten een bluscondensator van 0,1 µF / 275VAC, type X2. Deze is hiervoor speciaal ontworpen en er wordt afgeraden een ander type toe te passen.

De ringkern voedingstrafo is door Amplimo speciaal voor deze versterker gemaakt. Hij heeft intern een statische afscherming tussen primair en secundair, waarmee lichtnetvervuiling en instraling begrensd wordt. De in het schema getekende speciale "inrush" NTC-weerstand kan eventueel worden weggelaten, maar de netzekering zal dan grotere piekstromen moeten kunnen verwerken.
Waarom wordt in deze voeding buizengelijkrichting toegepast? Deze leveren geen schakelpulsen die bij solid state gelijkrichters wel optreden. Die pulsen kunnen in een versterker heel vervelend gaan doen en het geluidsbeeld aantasten. Over een gelijkrichtbuis staat een redelijk hoge restspanning Vd die we als verlies kunnen beschouwen. De afwezigheid van schakelpulsen is echter veel voordeliger en daarom nemen we dit spanningsverlies voor lief.

Er wordt in de HQSE 12 gebruik gemaakt van Russische buizen omdat de kwaliteit ervan erg goed is. Ze worden nog steeds geproduceerd en zijn goed verkrijgbaar. Als er NOS (New Old Stock) of andere equivalenten beschikbaar zijn kunnen die natuurlijk ook worden toegepast. De hier gebruikte 6D22S is een goedkope enkelfasige boosterdiode uit het post buizen TV tijdperk met een $V_{a,peak}$ van 6000V en Ia van 300mA! Deze buis voldoet prima voor onze toepassing. Eventueel kan het NOS type EY500A toegepast worden. Voor de dubbelfasige gelijkrichting zijn twee buizen nodig. De opwarmtijd van de buis is ongeveer 30 seconden. Dit zorgt voor een heel mooie natuurlijke klikvrije en vertraagde opkomst van de voedingsspanning. Ook kathodevergiftiging van de buizen wordt door deze trage inschakeling voorkomen.

De verkregen gelijkspanning wordt door een enkel pifilter (C8+L1+C9) geleid. Maak dit filter met goede componenten zoals een mooie smoorspoel en bijvoorbeeld Black Gate elco's. Denk daarbij ook aan C21 in de voedingslijn van de audioschakeling.
De gloeispanning van 6,3V voor de gelijkrichtbuizen wordt betrokken uit een speciale tot 500V geïsoleerde wikkeling op de voedingstransformator. Voor de gloeidraden voor de andere buizen in de versterker zijn nog drie wikkelingen aanwezig. Deze zijn ook grondig geïsoleerd om redenen van de maximaal toelaatbare spanning

tussen de gloeidraden en kathodes van de audiobuizen. De 5V wikkeling voor de gloeidraad van de 300B (dit is de 300B kathode) en de 6,3V gloeispanningen voor de driverbuizen worden na gelijkrichting ook met een enkel pi-filter afgevlakt. Door de weerstanden R5,6,7 wordt de desbetreffende gloeispanningen op de juiste waarde ingesteld. Stel deze weerstanden onder belasting samen tot de gloeispanningen correct zijn; de gegeven waarden zijn indicatief. Vergeet de ratelcondensatoren niet die over de bruggelijkrichters geplaatst zijn. Gebruik voor C3 tot en met C14 gewone goede kwaliteit elco's. Er is een belangrijke reden waarom voor de gloeidraadspanningen geen spanningsregelaars zijn toegepast. Als zo'n regelaar onverhoopt defect raakt, vormt deze vrijwel altijd een doorverbinding tussen aanvoer en afvoer en geen sluiting naar massa. Indien het defect niet direct wordt opgemerkt, zal bijvoorbeeld de 300B met zijn niet erg opvallende donkerrood gekleurde gloeidraad het zwaar te verduren krijgen. De drop-outspanning van een gewone spanningsregelaar bedraagt al gauw 2 tot 3 volt. Deze wordt bij een defecte regelaar opgeteld bij de benodigde 5V. Dit zal een vroegtijdig overlijden veroorzaken van de kostbare 300B en het zal voor de andere buizen ook niet goed uitpakken. Op de hier voorgestelde wijze kan er alleen spanningsverlaging of onderbreking optreden.
Ook netspanningvariaties kunnen nadelig zijn. Maar de buizenfabrikanten specificeren zeker 10% afwijking van de gloeispanning naar beneden. Naar boven is het minder, maar in de praktijk blijkt een netspanning van meer dan 235V nauwelijks voor te komen.

De versterker

De voorversterker bij de ingang is tegelijk de driversectie. Het is een zogenaamde mu-stage die door Alan Kimmel in 1992 werd gepubliceerd als een doorontwikkeling van de mu-follower. Deze laatst genoemde is één van de varianten op de bekende SRPP schakeling (Serie of Shunt Regulated Push pull). De SRPP is van origine geen audioschakeling maar was voor radar bedoeld en werd in 1943 gepatenteerd onder No: USA 2.310.342. Een triode heeft nagenoeg ideale parameters als de belasting aan de anode oneindig Ohm zou zijn. De schakeling van de mu-stage voldoet daar voor een groot deel aan. Eén en ander is afhankelijk van de steilheid van de bovenliggende pentode.

De voedingsspanning van de driversectie is relatief hoog. Dat is nodig omdat deze eigenlijk over twee in serie staande buizen verdeeld moet worden. Hier is de goed verkrijgbare videoeindbuis SV83 of EL83 gebruikt, ook uit het post buizen TV tijdperk. Hij heeft niet zo'n heel hoge steilheid (S = 10mA/V), maar dit is voldoende op deze plaats. Uiteraard kan geëxperimenteerd worden met steilere pentodes, zoals de E280F met S = 26mA/V, de D3a met S = 35mA/V of de steilste E810F met S = 50mA/V. Deze NOS buizen zijn moeilijker verkrijgbaar terwijl de kwaliteit met de SV83 zonder meer uitstekend is.
De onderliggende triode is de zeer goed klinkende 6N1P of een E88CC, met μ = 33. Ook de 6N2P met μ = 97,5 kan hier goed worden toegepast. Met deze keuze wordt de ingangsgevoeligheid van de versterker bepaald. Met 6N1P is deze 2V voor volle uitsturing en met 6N2P wordt dat 0,75V. De beide triodenhelften zijn parallel geschakeld waardoor de inwendige weerstand Ri en de ruisfactor van de buis met een factor 2 verminderen terwijl μ gelijk blijft. Voor maximale resultaten wordt aangeraden om voor C17 en C18 Black Gate elco's type N antiparallel te schakelen. Uiteraard kunnen de andere hoogspanningselco's ook Black Gate zijn, maar Jensen of andere audiofiele types voldoen ook goed.
De 300B wordt door middel van auto bias met R22 en C24 optimaal op zijn werkpunt ingesteld. Gebruik voor R22 bij voorkeur een inductievrij type, bijvoorbeeld Caddock of equivalent. Over R22 (= 900 Ohm) staat een spanning van 73V en de ruststroom door de 300B bedraagt 80mA. De weerstand moet dan een vermogen kunnen verwerken van P = 73V x 80mA = 5,84W. Dus een 10 tot 25W type met koellichaam is hier op zijn plaats. Ook kunnen natuurlijk twee weerstanden van 1,8kΩ parallel geschakeld worden. Plaats de kathodeweerstand goed vrij van de bedrading vanwege de warmtestraling, laat er geen draden tegenaan rusten. Uiteraard kan deze weerstand ook ergens aan het chassis bevestigd worden voor optimale warmteafvoer, maar controleer dan in ieder geval eerst de isolatie tussen de weerstand en het chassis.
De gloeidraadaansluitingen van de 300B zijn gesymmetriceerd met 2 weerstanden van 39Ω, om het DC potentiaalverschil tussen het begin en het einde van de gloeidraad (= kathode) in de 300B te compenseren. Dat maakt een ontbrompotmeter overbodig. In het schema is wel een 100Ω/3W insteltype getekend, voor het on-

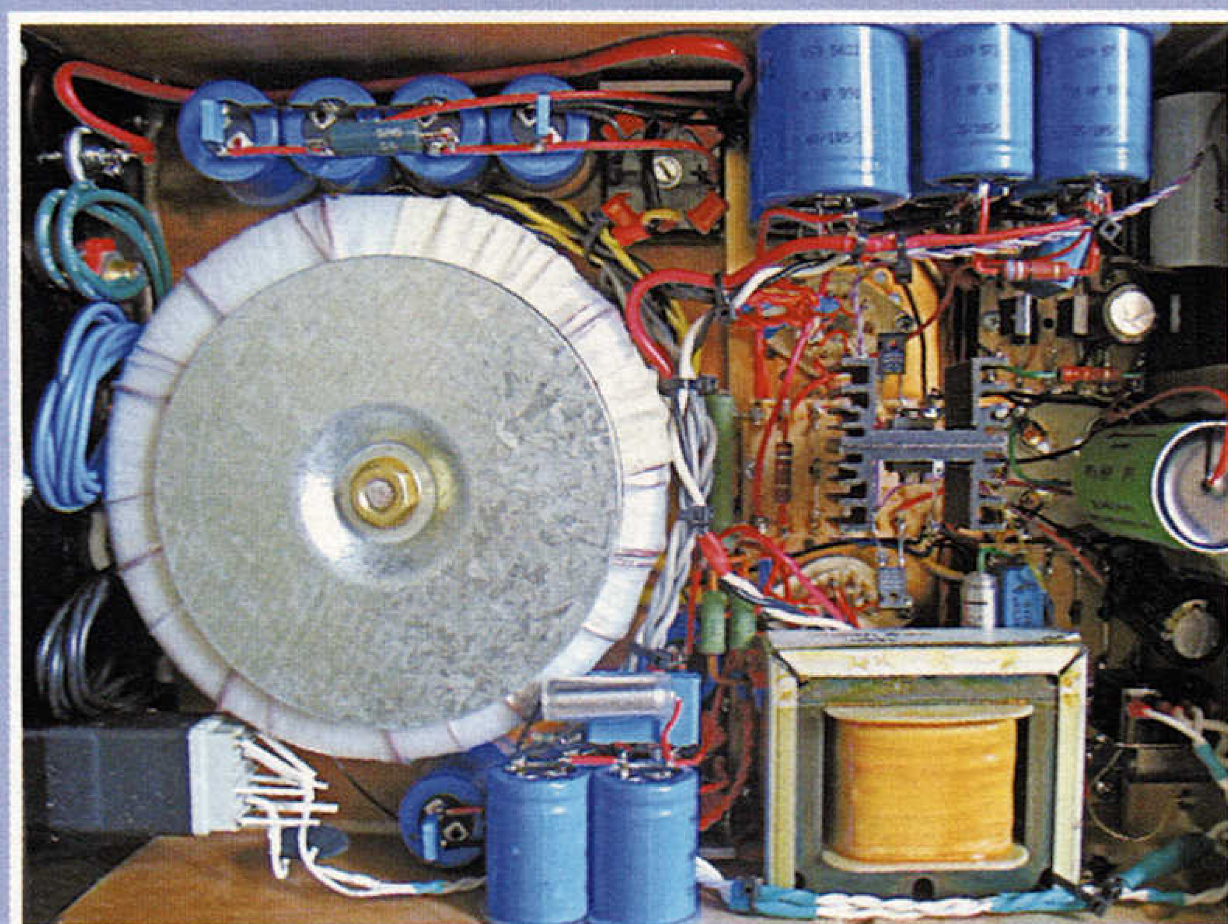
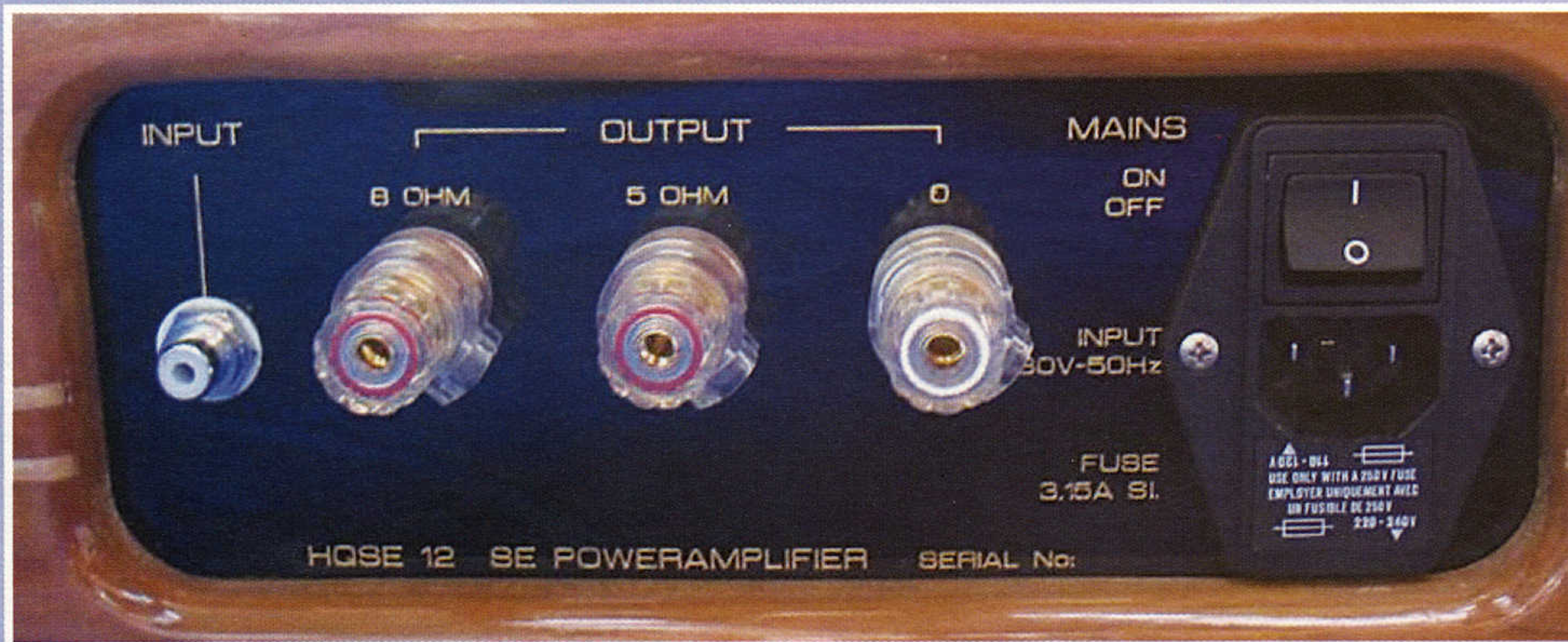
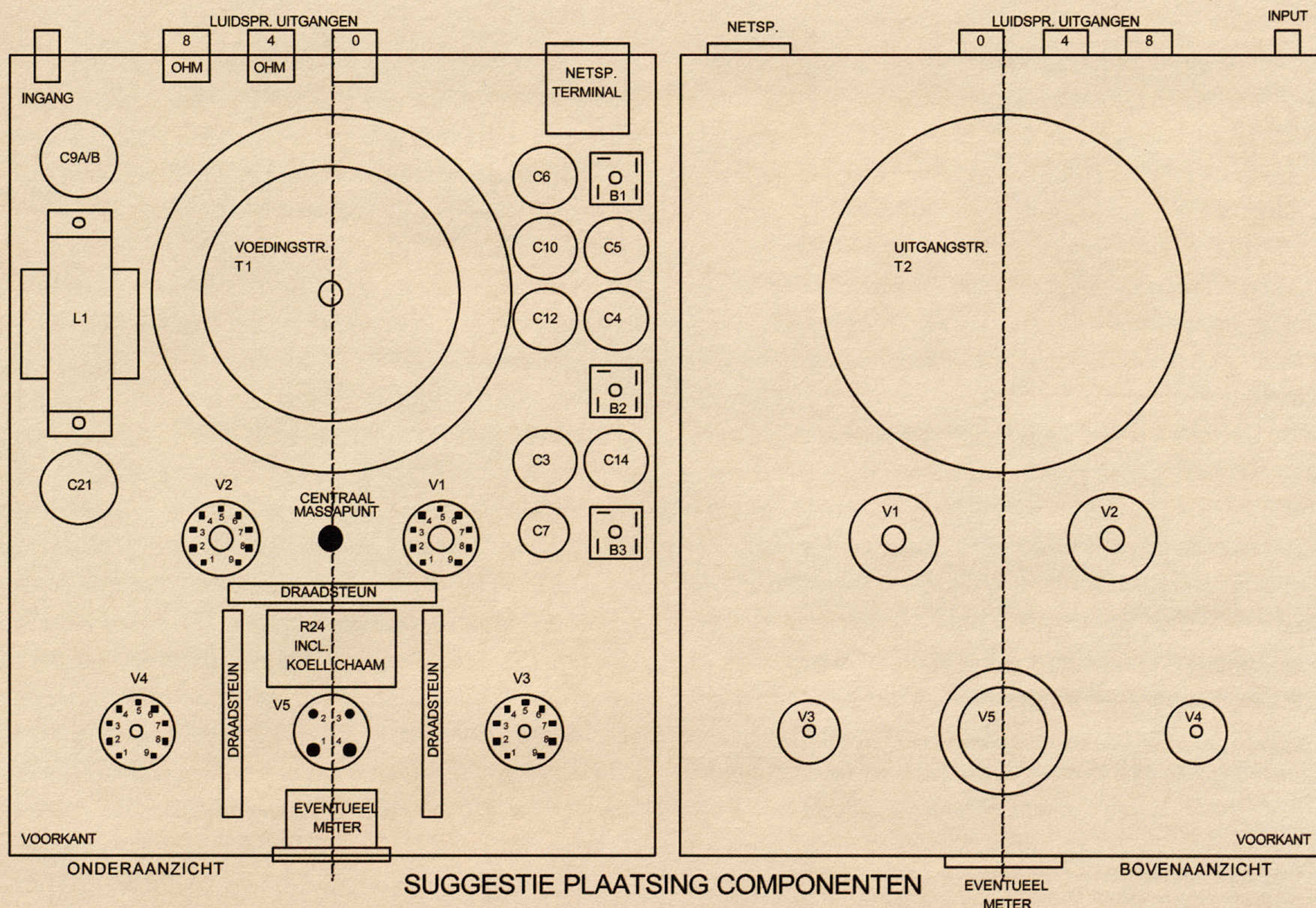
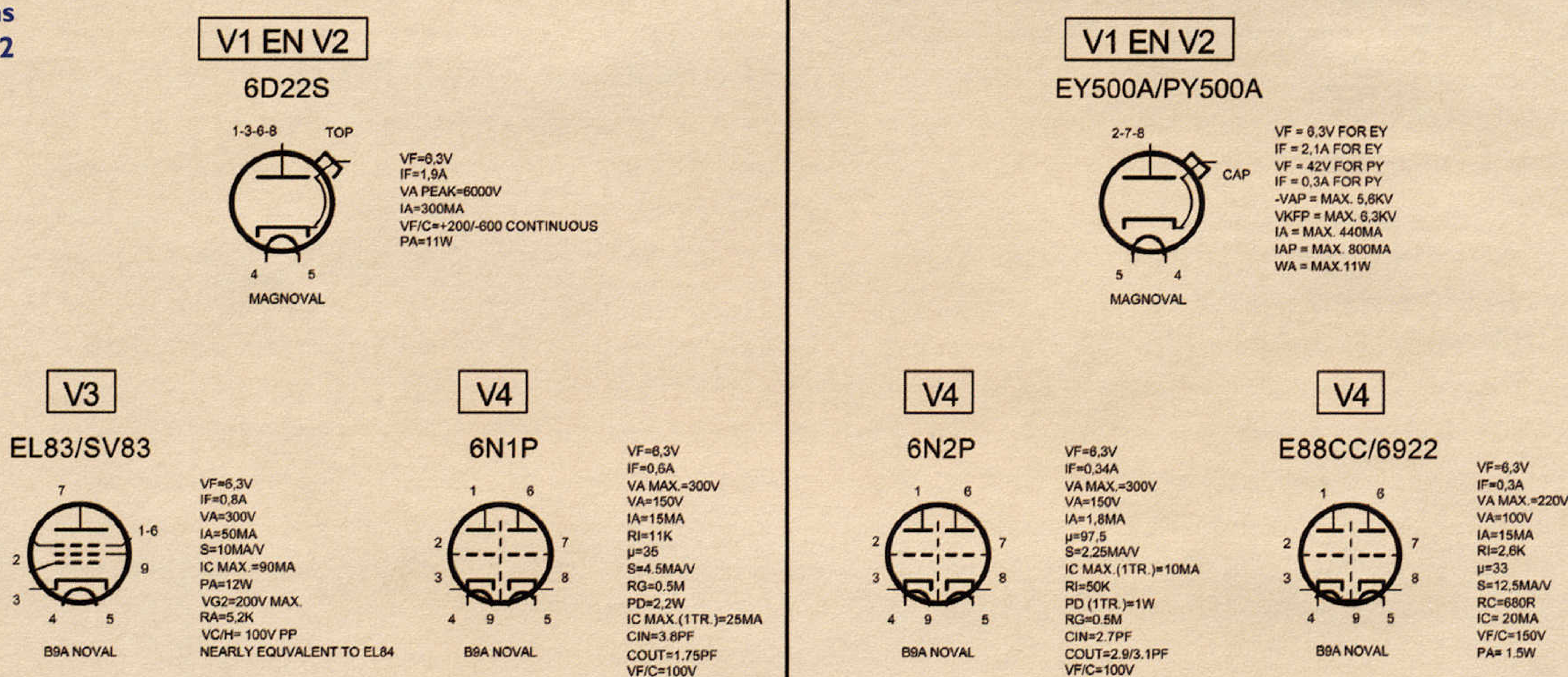



foto-2: HQSE 12 inwendig
foto-3: HQSE 12 aansluitveld

figuur 3: suggestie voor de plaatsing van de componenten



figuur 4: buisgegevens voor de HQSE 12



waarschijnlijke geval dat er met een hoogrendement luidspreker toch enige brom te horen zou zijn. Laat hem weg als er geen restbrom te horen is.

Onder de kathodeweerstand R22 is een extra weerstand R20 = 1Ω geplaatst, waarover optioneel een (ronde) meter kan worden aangesloten om de ruststroom door de 300B te kunnen meten. Zo'n ronde meter ziet er prachtig uit en je kunt de eindbuis altijd in de gaten houden. De 300B is ingesteld op een ruststroom van 80mA, bij een anodespanning van 430V. De totale anodedissipatie van V5 is dan 0,08 X (430 -73V) = ca 29W en dit ligt goed onder de maximale 40W die de datasheet aangeeft.

Voor de enige koppelcondensator (C20 = 1μF) in dit ontwerp wordt geadviseerd om een Papier In Olie type te proberen, bijvoorbeeld een Jensen Copper Foil. Voor de elco's is de audiofiele kwaliteit in aflopende volgorde: Black Gate, Jensen en BC. Neem voor C24 bij voorkeur een Black Gate type NH. Probeer ook eens 2 X Black Gate type N in anti parallel schakeling voor C17 en C18. Er zijn inmiddels meer goede elco's verkrijgbaar en eigen smaak en financiën bepalen hier natuurlijk wat uiteindelijk gebruikt gaat worden.

De zogenaamde "hard wire" montagetechniek zal in deze versterker goed voldoen. De componenten worden met de aansluitdraden aan elkaar verbonden met eventuele hulp van draadsteunen of montagebordjes. De plaatsing van de componenten zou kunnen volgens de suggestie van figuur 3. De versterkerkast is een kwestie van vormgeving waar ieder zijn eigen keuzes maakt.

Bouwvolgorde en opstarten

Een goede bouwvolgorde is:

1. alle onderdelen monteren, met uitzondering van

de trafo's.
2. de gloeidraadverbindingen leggen met minimaal 0,75mm draad.
3. de massaverbindingen zoveel mogelijk leggen.
4. trafo's monteren en netspanning en gloeidraad verbindingen aansluiten.
5. alle gloeispanningcircuits op goede werking testen.
6. voeding geheel afbouwen en alle spanningen (onbelast) testen.
7. versterker afbouwen.
8. weerstanden R5,6,7 bepalen. (later als de versterker werkt nogmaals testen)
9. V1,2,3,4 plaatsen en eerst de driver (6N1P of 6N2P + SV83) testen en meten.
10. V5 = 300B plaatsen en dan complete versterker testen en meten.

Nog een laatste tip: probeer via een variac onder spanning te gaan. Zet alle zintuigen op scherp, en draai langzaam de spanning op. Denk hierbij aan de lange opkomsttijd van de gelijkrichting.
Als uiteindelijk alles goed is gegaan, staat er een monoblock SE eindversterker met een frequentiebereik van 16,2–21800Hz binnen - 0,1dB, 7–47000Hz binnen - 1dB en 3,5–90000Hz binnen - 3dB. Het uitgangsvermogen is $9{,}5W_{rms}$ in 4 of 8Ω.
Hoe het klinkt? Met "gewone" componenten al excellent!

Let op!

Deze schakelingen werken met hoge spanningen die bij aanraking dodelijk kunnen zijn. Wees daarom uiterst voorzichtig met het werken onder spanning en neem alle noodzakelijke veiligheidsmaatregelen in acht voor het werken met elektriciteit. Volgens de CE keur moeten de betreffende componenten aanrakingsveilig worden geplaatst, dat geldt ook voor de elektronenbuizen! De auteur en uitgever aanvaarden onder geen enkele voorwaarde enige aansprakelijkheid voor schade die zou kunnen ontstaan.

1) zie voor de specificaties en de verkrijgbaarheid van de componenten: www.amplimo.nl
2) Voor meer informatie: fruitema37@home.nl

Bert Fruitema, is getrouwd en gepensioneerd. Hij volgde een technische opleiding elektronica. Tijdens zijn dienstjaren werd hij opgeleid als radio/ gyro technicus met rang bij de cavalerie. Hij is 40 jaar werkzaam geweest als ontwikkelaar van meetinrichtingen en meetapparatuur voor de elektriciteitsvoorziening in Nederland. Daarnaast ontwierp en bouwde hij 7 studio's voor onder andere de omroep en het gemeentelijk geluidsarchief. Vanaf zijn 11e levensjaar is hij al intensief bezig met werkelijkheidsweergave. Zijn eerste versterker was met een enkele AL4. In zijn werk en hobby heeft hij uiteraard gewerkt met elektronenbuizen en later ook met halfgeleiders. In 1972 richtte hij het ALFI label op. In 1979 kwamen de buizen opnieuw terug in zijn aandacht en daarmee heeft hij nu gedurende 58 jaren een grondige ervaring opgebouwd.

Componentenlijst voor één HQSE 12 monoblock

Weerstanden

R1 = NTC power weerstand 5Ω
R2 = weerstand 180Ω / 0,25W
R3 = weerstand 110kΩ / 0,25W
R4-R9-R15 = weerstand 100kΩ
R5 = weerstand 0,15Ω / 5W (zie tekst)
R6-R7 = weerstand 1,5Ω / 5W (zie tekst)
R8 = weerstand 10Ω / 1W
R10-R12 = weerstand 220Ω / 0,25W
R11 = weerstand 22kΩ / 0,25W
R13 = weerstand 150Ω / 0,25W
R14 = weerstand 56kΩ / 0,25W
R16 = weerstand 39kΩ / 1W
R17 = weerstand 2kΩ / 0,25W
R18 = weerstand 150Ω / 0,25W
R19 = weerstand 220kΩ / 0,25W
R20 = weerstand 1Ω / 0,25W (optioneel, zie tekst)
R21 = weerstand 99Ω / 0,25W (optioneel, zie tekst)
R22 = weerstand 900Ω / 10 - 25W met koelplaat (zie tekst)
R23-R24 = weerstand 39Ω / 0,25W
R25 = instelpotmeter 100Ω / 3W (optioneel, zie tekst)
R26 = weerstand 3,9kΩ / 3W

Condensatoren

C1-C2 = condensator 0,1µF / 275VAC – X2 (zie tekst)
C3-C4-C5-C6-C10-C12-C14 = 10000µF / 16V Elko
C7 = 100µF / 250V Elko
C8 = 10µF / 630V MKP (b.v. motor condensator)
C9A/B = 2 X 47µF / 500V Elko (zie tekst)
C11-C13-C15 = 0,1µF / 63V MKP
C16 = 0,47µF / 400V MKP
C17-C18 = 100µF / 16V (zie tekst)
C19 = 0,33µF / 400V MKP
C20 = 1µF / 630V P.I.O. (zie tekst)
C21 = 47µF / 500V Elko (zie tekst)
C22 = 0,1µF / 630V indien BG deze niet plaatsen
C23 = 27nF / 500V (Styroflex) indien BG deze niet plaatsen
C24 = 220µF / 160V (zie tekst)

De andere componenten

T1 = Amplimo voedingstransformator type 7N1474
T2 = Amplimo uitgangstransformator type VDV 3035 SE
1 X netspanning terminal 230V – 50Hz incl.zekeringhouder en eventueel incl. netschakelaar
L1 = smoorspoel 10H – 125mA
M1 = draaispoelmeter 1mV //100mA volle uitslag. (optioneel, zie tekst)
2 X topaansluiting keramisch 1/4 inch.
2 X buisvoet keramisch magnoval voor V1 en V2
2 X buisvoet keramisch noval voor V3 en V4
1 X buisvoet keramisch UX-4 voor V5
1 X koellichaam voor R20
1 X pilot led in houder.
3 X luidspreker aansluitklemmen, twee rood, een zwart
1 X cinch chassisdeel.
1 X instrumentklem zwart ground (massa)
Draadsteunen en / of montagebordjes
Divers montagemateriaal
Montagedraad
Kast

Fotografie: Personal Concepts

73 Watt symmetrische buizenversterker VDV-PR20HE

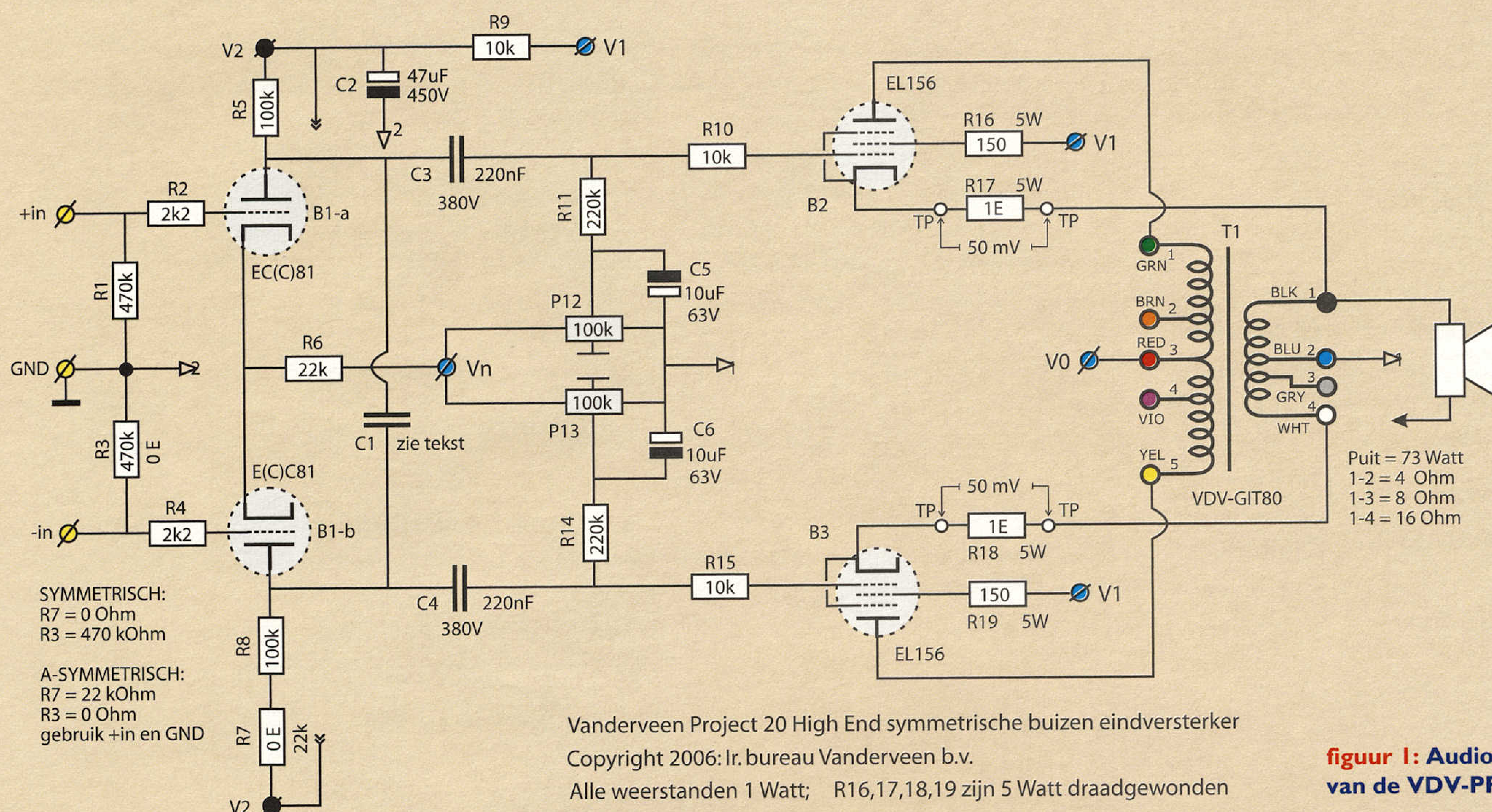
MENNO VAN DER VEEN

In eerste instantie was deze ruim 70 W buizen eindversterker van Menno van der Veen bedoeld voor gitaristen en voor geluidsversterking in grote ruimtes. Na enkele aanpassingen bleek deze krachtpatser eigenschappen te bezitten die volledig in de high-end weergave thuishoren. De vormgeving is gerealiseerd door samenwerking met Personal Audio Concepts. Er wordt een bijzondere vorm van lokale tegenkoppeling toegepast waarmee lage vervorming en een doortekende basweergave worden bereikt. Het ruimtelijk beeld is bijzonder open, deze versterker "ademt" en plaatst je midden in de voelbare realiteit van de opname.

Wat maakt buizenversterkers zo bijzonder? Zijn dat de buizen of de transformatoren of is er nog iets anders aan de hand? In 2004 startte ik een onderzoek waarbij de invloed van de schematuur van de versterker centraal stond. Hiervoor ontwikkelde ik een soort universele versterker plus uitgangstransformator en voeding. Alleen door het verleggen van wat draden ontstonden totaal verschillende versterkers met vermogens van 5 tot ongeveer 80 Watt, inclusief Single Ended en balans en andere speciale koppelingen. Zie voor meer details 1) tot en met 5). In dit artikel bespreek ik de versterker die als beste en krachtigste uit mijn onderzoek naar voren kwam. Het is de 73 Watt project-20 versterker die in eerste instantie bedoeld was voor gitaar en geluidsversterking op het podium. Na extra fijnafstemming ontstond hieruit de luxe high-end versie van dit artikel, de VDV-PR20HE.

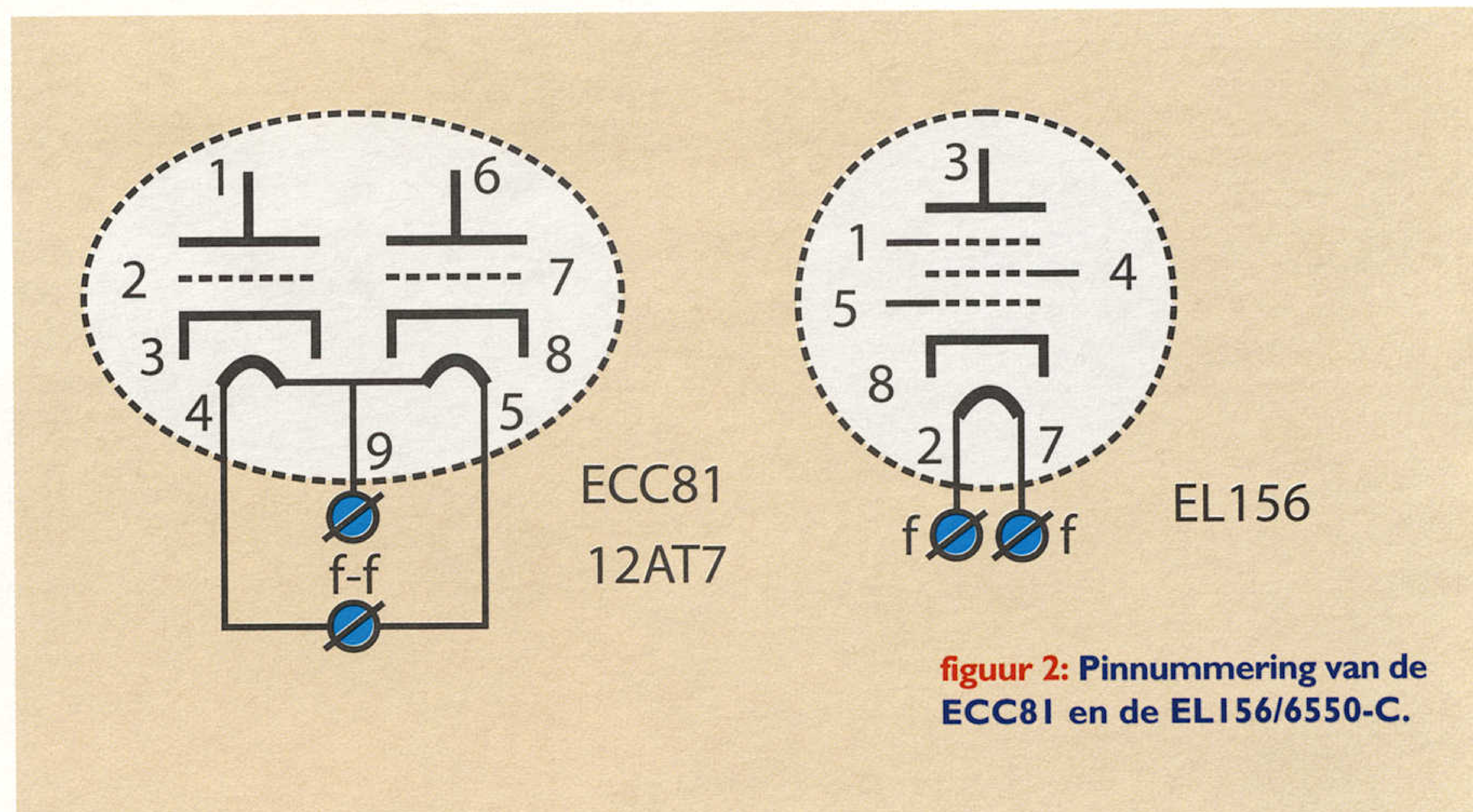
De audio schematuur

In figuur 1 is de schematuur van de versterker afgebeeld. De ingang links is gebalanceerd en bedoeld voor koppeling aan bijvoorbeeld een voorversterker met gebalanceerde XLR uitgang. Met een kleine wijziging kunnen ook asymmetrische ingangen op de "+in" ingang aangesloten worden. Zie daartoe de aanwijzingen voor R3 en R7 in het schema.
De long-tailed ingangsversterker met de ECC81 functioneert tegelijk ook als fasedraaier. In de gemeenschappelijke kathode is met R6 een stroombron gesimuleerd, waarbij de grote negatieve spanning Vn = -72 V effectief wordt gebruikt.
Tussen de twee anodes van de ECC81 kan een capaciteit C1 (100pF/500V zilver mica) geplaatst worden om het frequentiebereik van deze stuurtrap enigszins te beperken. Hierdoor valt bij metingen een restresonantie in de universele uitgangstransformator bij ongeveer 90 kHz minder op. Je hoort echter de invloed van C1 niet, dus hij mag ook rustig weggelaten worden.
Na deze voorversterking en fasedraaiing gaat het signaal via de condensatoren C3 en C4 naar de eindbuizen. De schakeling is geoptimaliseerd voor de befaamde EL156



figuur 1: Audio schematuur van de VDV-PR20HE

eindbuizen. Deze hebben een maximale anodedissipatie van 50 W. Hierdoor is het mogelijk om grote ruststromen (veel klasse A) door deze eindbuizen te sturen. Maar de beroemde 6550-C eindbuizen van Svetlana ($P_{a,max}$ = 40 W) doen het hier ook uitstekend; zie de meetgegevens voor meer details.
De ruststromen door de eindbuizen worden met de 10-slags potentiometers P12 en P13 ingesteld, die een negatieve voorspanning naar de stuurroosters sturen. In de kathodeleidingen zijn de twee weerstanden R17 en R18 opgenomen, waarop testpunten zijn aangebracht. Over elk van deze weerstanden moet 50 mV staan voor een optimale ruststroom van 50 mA per eindbuis. Met een externe voltmeter zijn deze spanningen gemakkelijk te meten en zo nodig met P12 en P13 bij te stellen.
De anodes van de eindbuizen zijn rechtsreeks op de primaire wikkeling van de universele VDV-GIT80 uitgangstransformator aangesloten. Deze staat ingesteld op een effectieve primaire impedantie Z_{aa} = 8 kOhm. Zie 6) voor meer technische gegevens en 9) voor de verkrijgbaarheid. De hoogspanning op de middenaftakking bedraagt Vo = 720 V. De schermroosters G2 krijgen via hun beveiligingsweerstanden R16 en R19 een hoogspanning van V1 = 360 V aangeboden. Deze hoge spanningen zijn niet zo gebruikelijk, maar verklaren alvast wel waarom deze versterker zoveel vermogen kan leveren.
Met de hier gegeven getallen kan de anodedissipatie per eindbuis worden berekend. Deze bedraagt 720 V maal 50 mA en dat levert Pa = 36 W op. Dit is een veilige waarde met de garantie voor een lange levensduur van de eindbuizen. Maar stel dat iemand nog meer klasse A instelling wenst waarbij beide eindbuizen voortduren tegelijk in bedrijf zijn? Dan geldt $P_{a,max}$ = 50 Watt gedeeld door Vo = 720 V en dat levert $I_{0,max}$ = 69,4 mA op. Ik raad deze hoge waarde niet aan wegens een sterk verkorte levensduur van de eindbuizen.
De kathodes van de eindbuizen zijn op een bijzondere manier gekoppeld aan de secundaire wikkeling van de uitgangstransformator. De middenaftakking (pin-2, blauwe



figuur 2: Pinnummering van de ECC81 en de EL156/6550-C.

aansluitdraad) ligt aan aarde, zodat de stroom door de eindbuis via de bijbehorende secundaire wikkelhelft naar aarde kan afvloeien. Door deze schakeling verschijnt per eindbuis een deel van de uitgangspanning tussen diens kathode en stuurrooster. De effectieve spanningsversterking neemt hierdoor af. Dit is een sprekend voorbeeld van locale kathodetegenkoppeling (CFB = cathode feedback). Het gevolg is dat de dempingsfactor drastisch toeneemt terwijl de harmonische vervorming in de eindbuizen plus transformator stevig wordt onderdrukt.
Aan de secundaire kant van de uitgangstransformator kunnen luidsprekers van 4, 8 en 16 Ohm aangesloten worden. Let er op dat dit altijd is ten opzichte van secundair tap-1, de zwarte draad.
In figuur 2 is de pinnummering van de gebruikte buizen weergegeven. De nummering van de EL156 en 6550-C is gelijk, dus rechtstreekse vervanging is mogelijk.

Voorkom brom met goede aarding

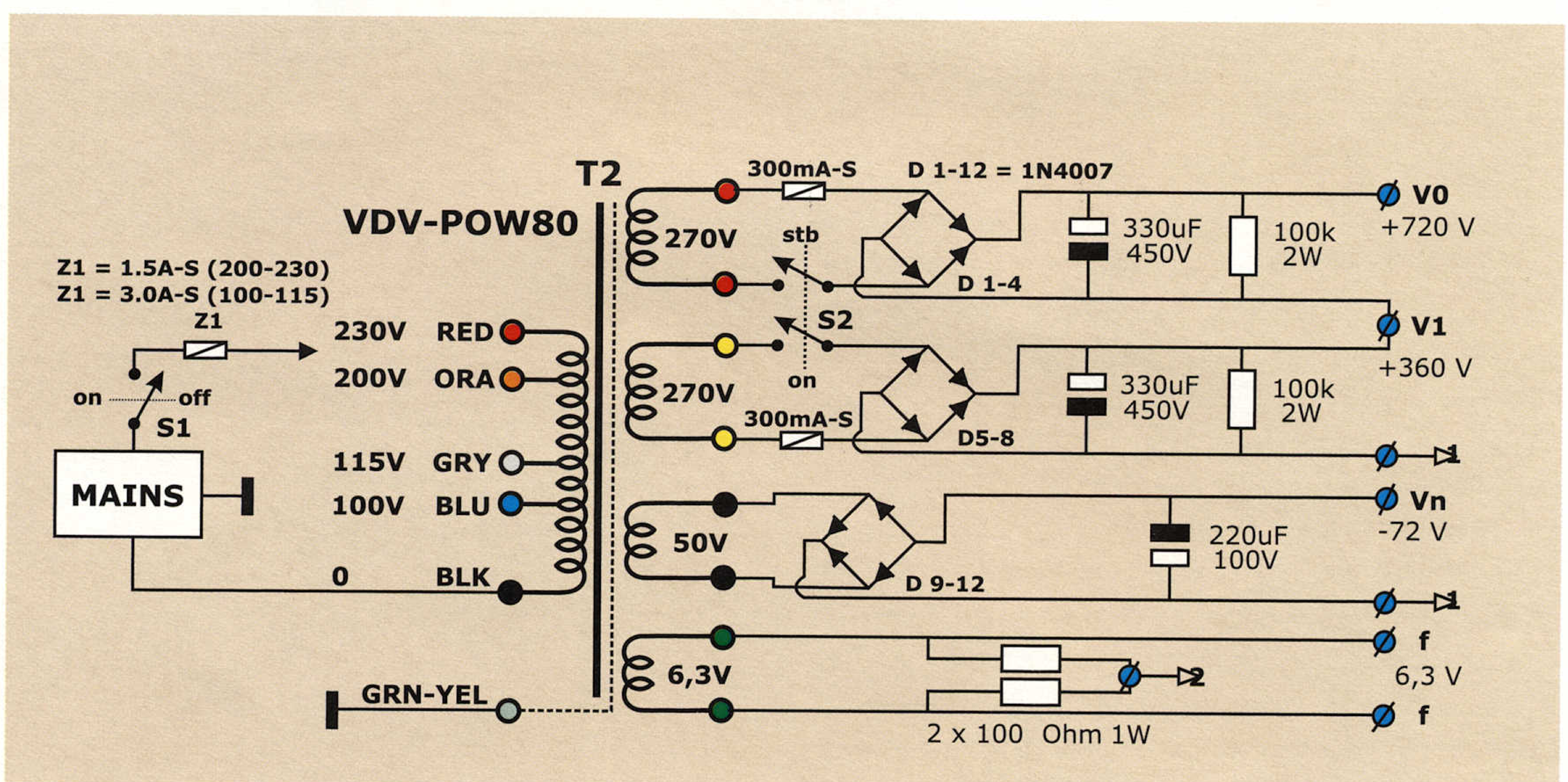
In het schema zijn twee aansluitingen voor aarding getekend, met de nummers 1 en 2. Deze zijn wel met elkaar verbonden, maar als men hier goed oplet, dan kun-

nen bromproblemen bij de nabouw worden voorkomen. Aarde-1 hoort bij de eindbuizen en de hoogspanningsvoeding en hier lopen de grote stromen van de eindbuizen. Aarde-2 hoort bij het gevoelige ingangscircuit rondom de ECC81. Als men de versterker bouwt moet er voor gezorgd worden dat de grote stromen door de eindbuizen bij aarde-1 lopen en niet door aarde-2 gaan. Anders gezegd: de aarde-2 van R1,3 en C2 moet één sterpunt zijn dat vervolgens met een aparte draad verbonden wordt met aarde-1. De aansluitingen van C5,6,P12,13 en secundair tap-2 gaan naar het aarde-1 sterpunt. Vanaf hier gaat er een aparte draad naar de voeding. Op deze manier wordt voorkomen dat de grote stromen door de eindbuizen bij de gevoelige ingangsbuis terechtkomen. Aarde-2 is bij de ingang tevens verbonden met de metalen kast. Ook hierdoor worden reststromen in het aardecircuit voorkomen.

buffering de noodzakelijke negatieve spanning Vn = -72 V. Deze negatieve spanning is bewust niet gezekerd, omdat hij hoe dan ook altijd aanwezig moet zijn. Zou Vn wegvallen, dan blazen de eindbuizen zichzelf per definitie op, en dat kan nooit de bedoeling zijn.
De gloeidraadspanning van 6,3 V wordt door de vierde wikkeling geleverd. Deze is kunstmatig door twee extra 100 Ohm weerstanden in het midden geaard, vlak bij de ingangsbuis bij aarde-2.

Meetgegevens

De belangrijkste meetgegevens staan in onderstaande tabel. De meeste gegevens spreken voor zich. Het is interessant om naar de -3dB vermogensbandbreedte te kijken. Deze wordt op -3dB van Pmax gemeten, dus bij de helft van het uitgangsvermogen, bij 36 Watt. Aan de



figuur 3: Voeding van de VDV-PR20HE

De voeding

De schakeling van de voeding staat in figuur 3. Deze is opgebouwd rondom de universele voedingstransformator VDV-POW80. Zie 7) voor aanvullende details en 9) voor de verkrijgbaarheid. Primair kunnen hierop netspanningen van 100 V (Japan), 115 V (Amerika) tot 230 V (Europa) worden aangesloten. In het schema wordt de optimale primaire zekering per netspanning aangegeven. De aarde van het lichtnet wordt direct met bijbehorende kartelringen en soldeerlip uiterst stevig aan de metalen versterkerkast gekoppeld. Tussen de primaire en secundaire is een effectief aardscherm aangebracht (geel-groene draad) dat eveneens aan de hiervoor besproken kastaarde gekoppeld moet worden.
Secundair zijn twee volledig gescheiden hoogspanningswikkelingen van 270 V aanwezig die elk afzonderlijk gelijkgericht en gebufferd worden. Tevens hebben ze elk een zekering en een gecombineerde stand-by schakelaar S2. Na uitschakeling van S2 worden de 330µF buffer elco's redelijk snel ontladen door de hierover geplaatste 100 kOhm weerstanden. De gelijkgerichte hoogspanningen bedragen elk 360 V. Door serieschakeling komen de gewenste spanningen van V0 = 720 V en V1 = 360 V beschikbaar.
De derde wikkeling van 50 V levert na gelijkrichting en

laagfrequente kant begint de zachte kernverzadiging in de uitgangstrafo net onder 18 Hz. Boven 18 Hz is er geen vuiltje in de lucht. Bij 73 Watt uitgangsvermogen begint de kern onder 18√2 = 25 Hz verzadigd te raken. Als we op normaal luisterniveau van 2 Watt in de huiskamer het frequentiebereik meten, dan ligt de -3dB ondergrens bij 4 Hz. Deze extreem lage frequentie wordt bereikt omdat de primaire zelfinductie van de VDV-GIT80 zo groot is ($L_{p,max}$ > 1000 H).
Aan de hoogfrequente kant is het -3dB bereik consequent ongeveer 26 kHz, onafhankelijk van het uitgangsvermogen! Deze begrenzing wordt gevormd door de lekinductie Lsp en de interne capaciteit C_{ip} van de uitgangstransformator en niet door de buizenschakeling. Deze metingen komen volledig overeen met mijn oorspronkelijke ontwerpeis van de VDV-GIT80, waarvan het -3dB bereik voldoende boven 20 kHz moet liggen. Het is mogelijk om dit bereik sterk te vergroten door mijn ringkern transformator VDV-4070CFB toe te passen, dan met een enkelvoudige secundaire belasting van 8 Ohm.
De uitgangsimpedantie Z_{uit} is afhankelijk van de ruststroom en het type eindbuis. Hij is zo laag omdat kathodetegenkoppeling wordt toegepast. Deze versterker zal de meeste dynamische luidsprekers meer dan voldoende te dempen voor een strakke en snelle laagweergave.



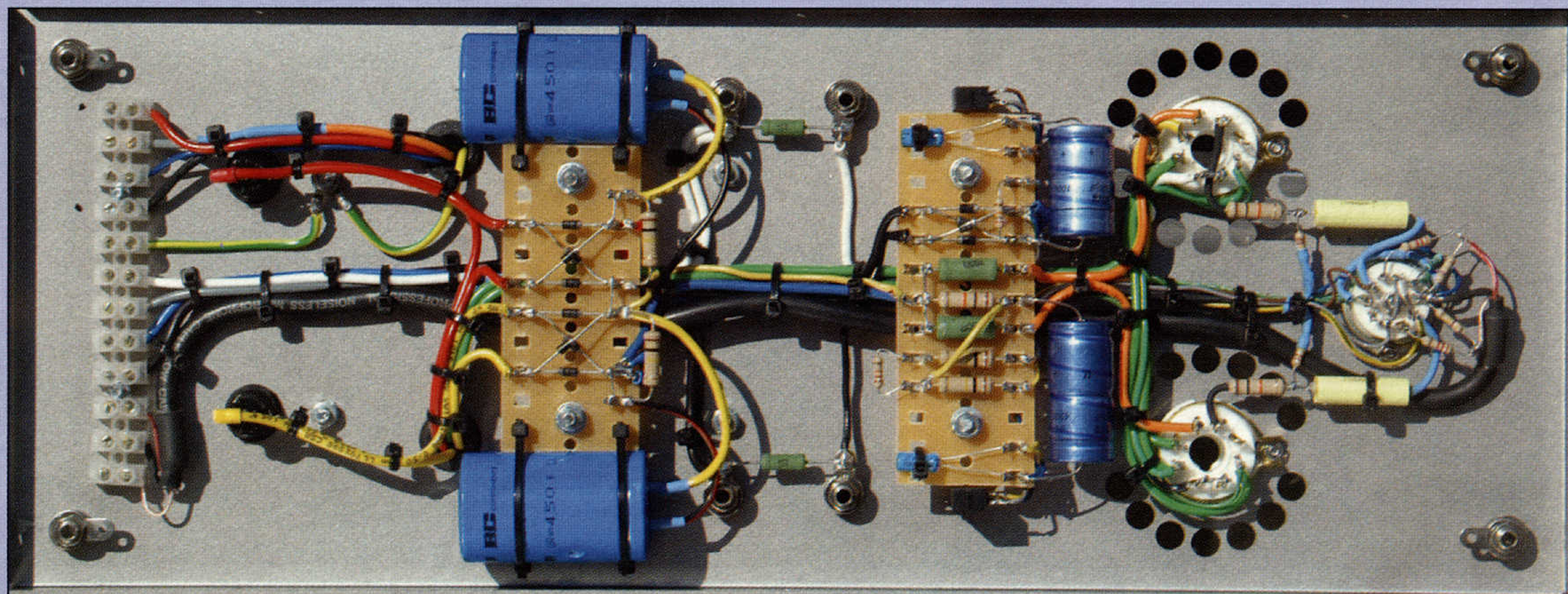
De ingangsgevoeligheid ligt op 2 V_{rms}, dus de meeste CD spelers kunnen deze versterker volledig uitsturen. Een extra voorversterker is dan niet nodig, hoogstens een extra volumeregelaar van bijvoorbeeld 100 kOhm logaritmisch aan de ingang. Neem voor de symmetrische ingangsschakeling een stereo potentiometer die de plus- en miningangen gelijk regelt.
De bromspanning aan de uitgang wordt voor 2 mV_{tt} veroorzaakt door rechtstreekse instraling van het magnetische lekveld van de transformator van de voeding in de uitgangstransformator. Dit kan verminderd worden door deze trafo's nog verder van elkaar weg te zetten, maar deze 2 mVtt is in mijn optiek voldoende gering. De buizenschakeling levert dankzij de zorgvuldige aarding slecht 1 mV_{tt} extra bromspanning en dat is heel weinig. Ruis is overigens onhoorbaar, zelfs met het oor pal tegen de luidspreker.

Over de kast, montage en subjectief

De behuizing van deze versterker is ontworpen door het bedrijf Personal Audio Concepts. In het linker verticale deel zit een logicaschakeling voor de aansturing van de kanaalselectie en de hoofdvolumeregeling met een afstandsbediening. Achter in elk monoblock zit de eigenlijke schakeling van de volumeregeling die met veel kleine relais via weerstand spanningsdeling is uitgevoerd. De volumeregelaar per monoblock heeft slechts een bereik van 0 dB tot -10 dB en dient alleen om de versterking van de monoblocks onderling gelijk te maken. Meerdere monoblocken kunnen aan elkaar gekoppeld worden (bijvoorbeeld voor surround) die allemaal door dezelfde linker hoofdunit worden aangestuurd. De rechter verticale unit is leeg. Deze kan bijvoorbeeld gebruikt worden als behuizing voor een platenspeler voorversterker. Zie 8) voor meer details over deze "Add on Amps"

VDV-PR20HE meetgegevens	EL156	EL156	6550-C	eenheid
Ruststroom Io per eindbuis	40	50	40	mA
V0	726	716	728	V
V1	363	358	364	V
Va1 bovenste EC(C)81	199	199	199	V
Va2 onderste E(C)C81	196	196	196	V
Vn	-72	-72	-72	V
Vg1 eindbuizen (indicatief)	-23	-22	-43	V
P_{max} @ 1kHz	71	73	75	W
-3dB vermogensbandbreedte	18 - 26	18 - 26	18 - 28	Hz - kHz
-3dB frequentiebereik @ 2 W	4 - 27	4 - 27	7 - 27	Hz - kHz
Zuit aan 4 Ohm uitgang	2,5	2,3	3,5	Ohm
Vin asymmetrisch @ 70 Watt	2,0	2,0	2,5	Vrms
Bromspanning aan uitgang	4	3	4	mVtt

Foto-2: onderaanzicht VDV-PR20HE (foto: Menno van der Veen)



kasten en hun verkrijgbaarheid. De bovenplaat van elk monoblock kan op maat voorgeboord (met laser) worden geleverd en de door mij gehanteerde maatvoering is bij Personal Audio Concepts bekend.

In foto-2 is te zien hoe ik de versterker gebouwd heb. De montagebordjes zijn vastgezet met de schroeven waarmee de trafo's ook vastzitten. Alle bekabeling is in een enkele hoofdboom door het middenvlak samengevoegd. Hiermee wordt voorkomen dat het magnetische lekveld van de voeding een gesloten oppervlak van een aardelus aanstraalt, waardoor opnieuw brom zou kunnen ontstaan. De 330 mF elco's moeten goed geïsoleerd van het chassis worden gemonteerd om doorslag van de hoogspanning te voorkomen. Na het maken van deze foto bleek dat de pinnen waarmee de monoblocken aan elkaar gekoppeld worden deze elco's aanraken en zijn ze daarom elders geplaatst.

Geen enkele ontwerper ontkomt er aan dat hij razend enthousiast is over zijn eigen creatie. Ik ben dat ook, maar noem nu alleen die zaken die echt opvallen. Het geluid heeft veel krachtige power, een uitmuntende klankbalans en is opmerkelijk snel en doortekend en ruimtelijk. Het geluidsbeeld heeft een levendig karakter, het ademt, je voelt de akoestiek van de opname.

Menno van der Veen studeerde technische natuurkunde op de universiteit. Daarna werkte hij als hoofddocent natuurkunde en startte in 1986 zijn ingenieursbureau. Hij publiceerde over audio en techniek in meerdere audiobladen, voor de AES en het NAG en schreef boeken. In 2006 verzorgde hij de Elektuur buizen masterclass. Hij is de ontwerper van de hoogwaardige ringkern uitgangstransformatoren die door Amplimo en Plitron gefabriceerd worden. Begin 2006 richtte hij de buizen academie TubeSociety op. Buizenversterkers en transformatoren vormen de hoofdthema's van zijn activiteiten.

Bronnen:

1) zie op www.mennovanderveen.nl ; het project
2) www.aes.org ; paper 6347 Barcelona 2005
3) AudioXpress January 2006, pp. 6 - 19
4) www.mennovanderveen.nl; boeken:
proefdruk van Het Vanderveen Buizenbouwboek 2.
Binnenkort beschikbaar bij Segment:
Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2".
Zie aldaar hoofdstuk 9.
5) project 28: de uitdaging
6) project 8: de VDV-GIT80
7) project 9: de VDV-POW80
8) www.addonamp.eu
9) www.mennovanderveen.nl; transformatoren
10) Voor nadere vragen: info@mennovanderveen.nl



foto 2: TS-VV-2006 frontaanzicht



foto 1: studenten TubeSociety

TubeSociety TS-VV-2006 buizenvoorversterker

DOOR MENNO VAN DER VEEN

De studenten van de TubeSociety buizenacademie ontwikkelden als studieopdracht een opmerkelijke buizenvoorversterker. Naast een lijntrap werd een platenspeler voorversterker ontworpen plus een buffer voor de recorderuitgang, een gebalanceerde actieve ingangstrap en een hoofdtelefoonversterker. Omdat de beschikbare tijd te kort was om ook nog een print te maken, is deze voorversterker met behulp van montagebordjes "hard-wired" opgebouwd. Voor minimale brom is de netvoeding buiten de kast geplaatst.

De TubeSociety opleiding tot ontwerper van buizenversterkers duurt één jaar en bevat per kwartaal een hoofdthema, beginnend bij "voorversterking", vervolgens "eindversterking" en "transformatoren" plus "meten". Zie 1) voor meer informatie over deze academie. Direct bij de start van de opleiding werd afgesproken om met een eigen te publiceren ontwerp uit te komen. De negen studenten (zie foto 1) kregen de opdracht om elk een deel van de voorversterker voor hun rekening te nemen. Aan de hand van deze ontwerpen en de bijbehorende luisterproeven en testen was het mogelijk om een groot deel van de lesstof direct in de praktijk te toetsen.

Het concept van de voorversterker staat in figuur 1. In dit artikel wordt elke deeltrap afzonderlijk behandeld, terwijl hun onderlinge verbindingen en schakelaars en knoppen logisch uit figuur 1 volgen. Foto's 2 en 3 laten het uiteindelijke ontwerp zien, waarbij gebruik is gemaakt van een 19" 2HE kast, zie 2). De belettering is met Coreldraw op ware grootte getekend en vervolgens met een zwart ingebrande plastic film over het front en de achterkant geplakt, zie 3).

Op foto 4 is duidelijk de inwendige opbouw te zien. De buizen zijn gemonteerd op een subchassis (zoals in de ouderwetse G36 Revox recorder), terwijl alle andere componenten op montagebordjes vlak bij de buizen zijn geplaatst. Op dit subchassis werden als eerste de buisvoeten gemonteerd. Kleine gaatjes in het subchassis bij de buisvoetpennen 4 en 5 en 9 maakten het mogelijk om de aanvoerdraden van de 6,3V gloeispanning aan de buis-



foto 3: TS-VV-2006 achteraanzicht

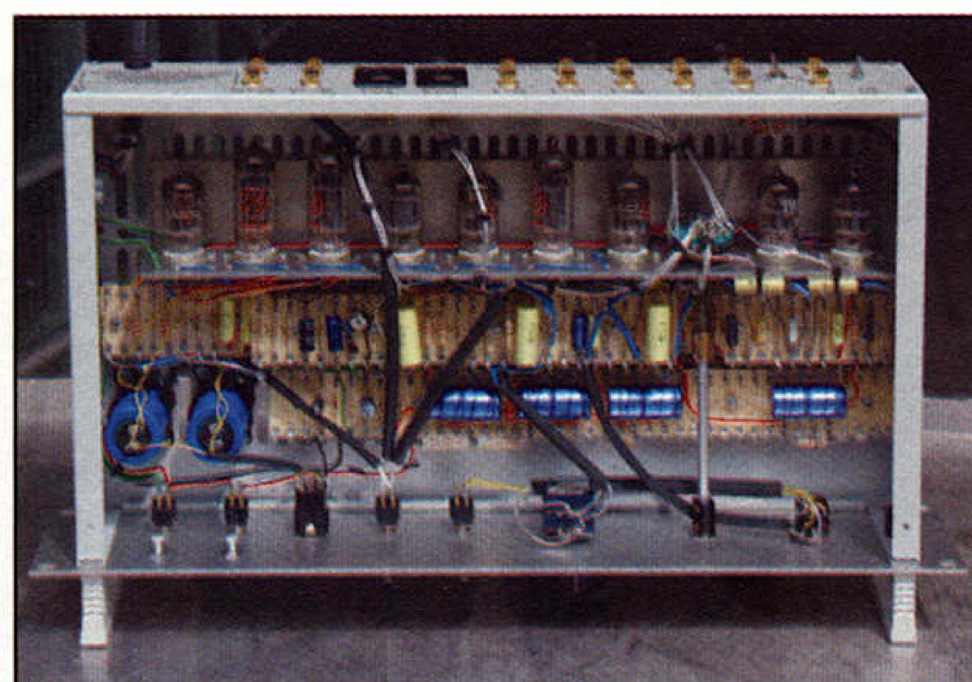
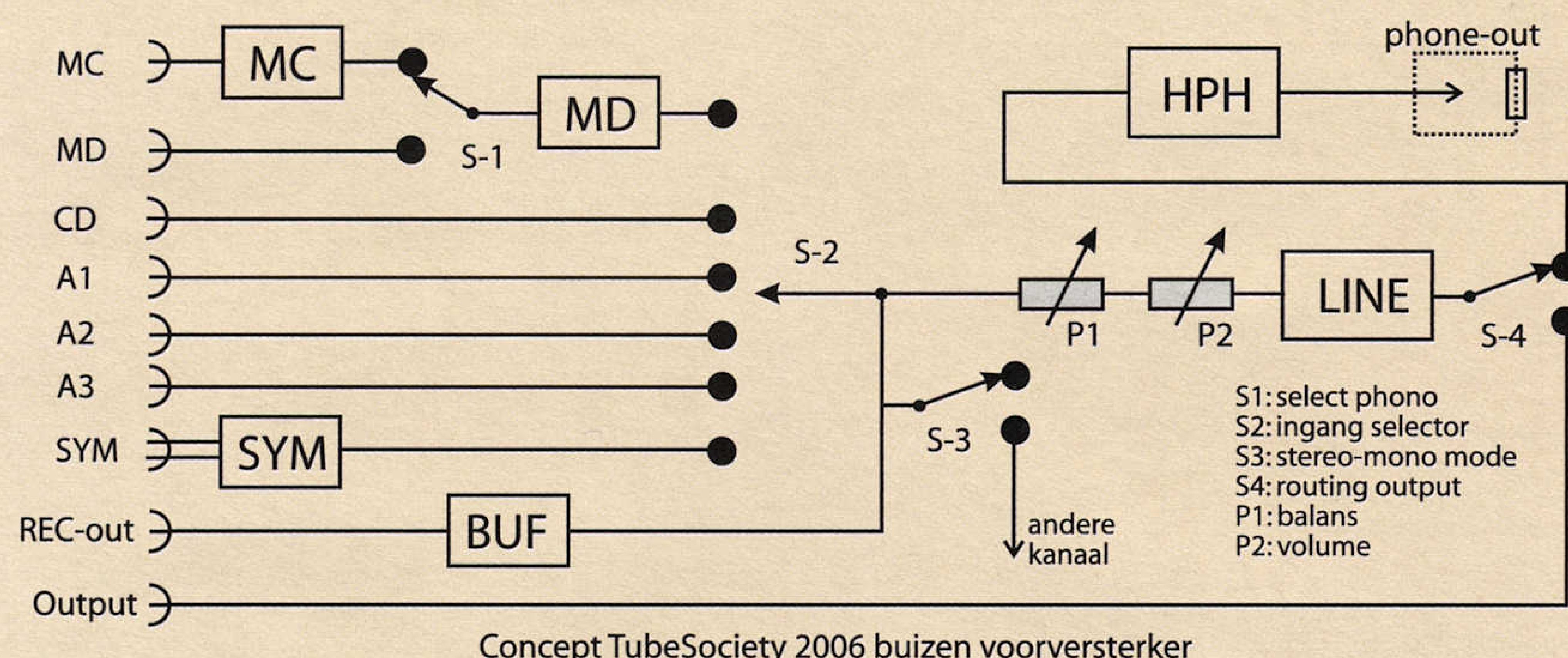
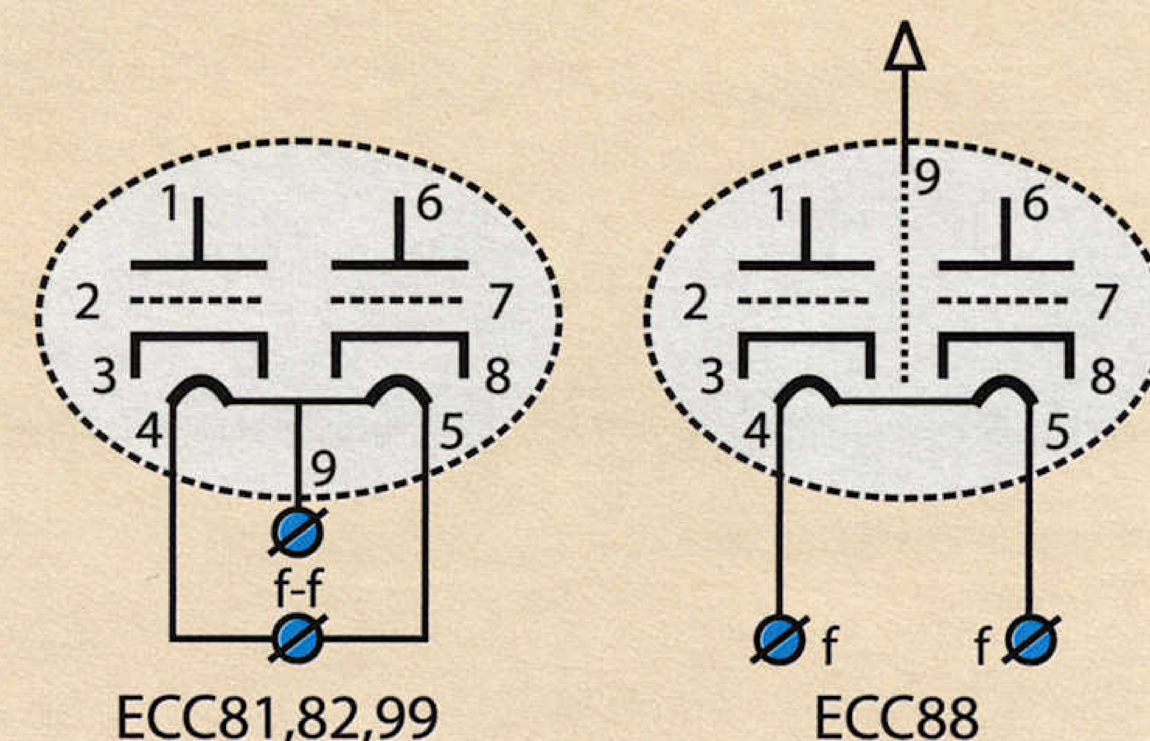
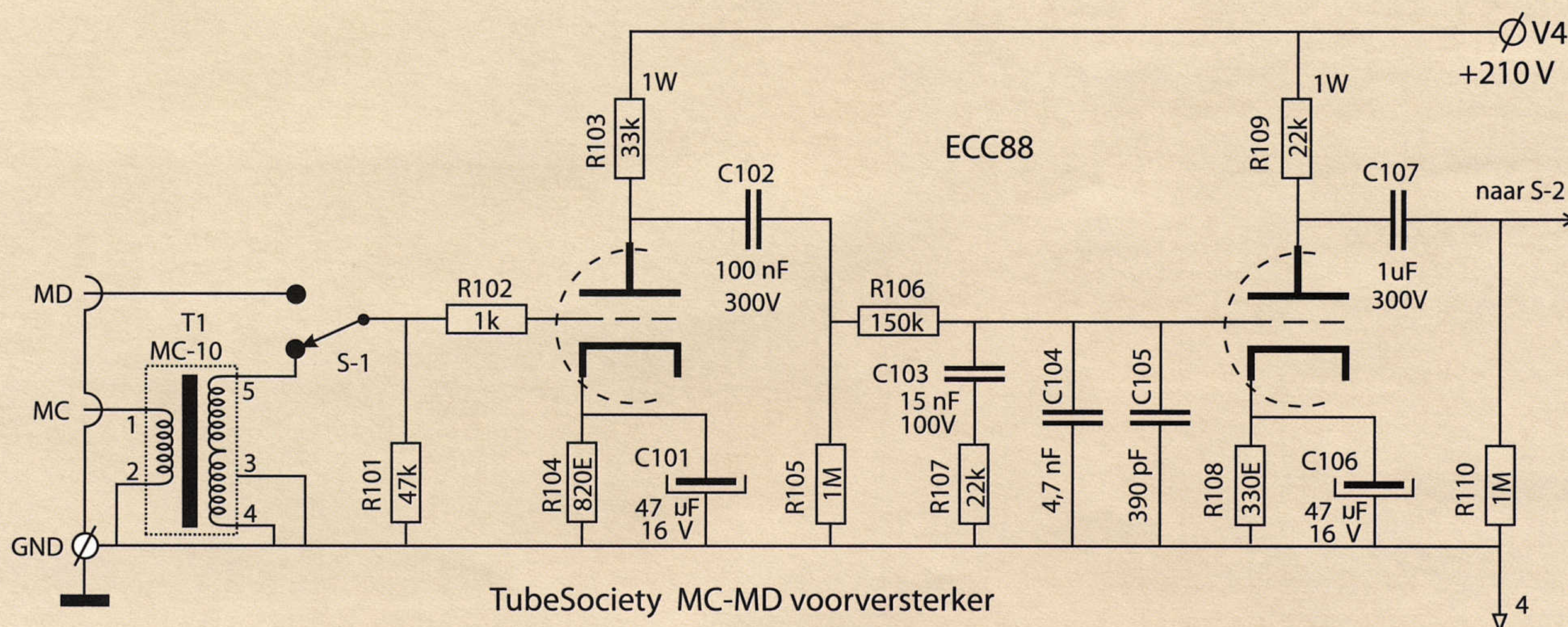


foto 4: TS-VV-2006 inwendig







figuur 1: Overzicht van de TS-VV-2006 buizenvoorversterker

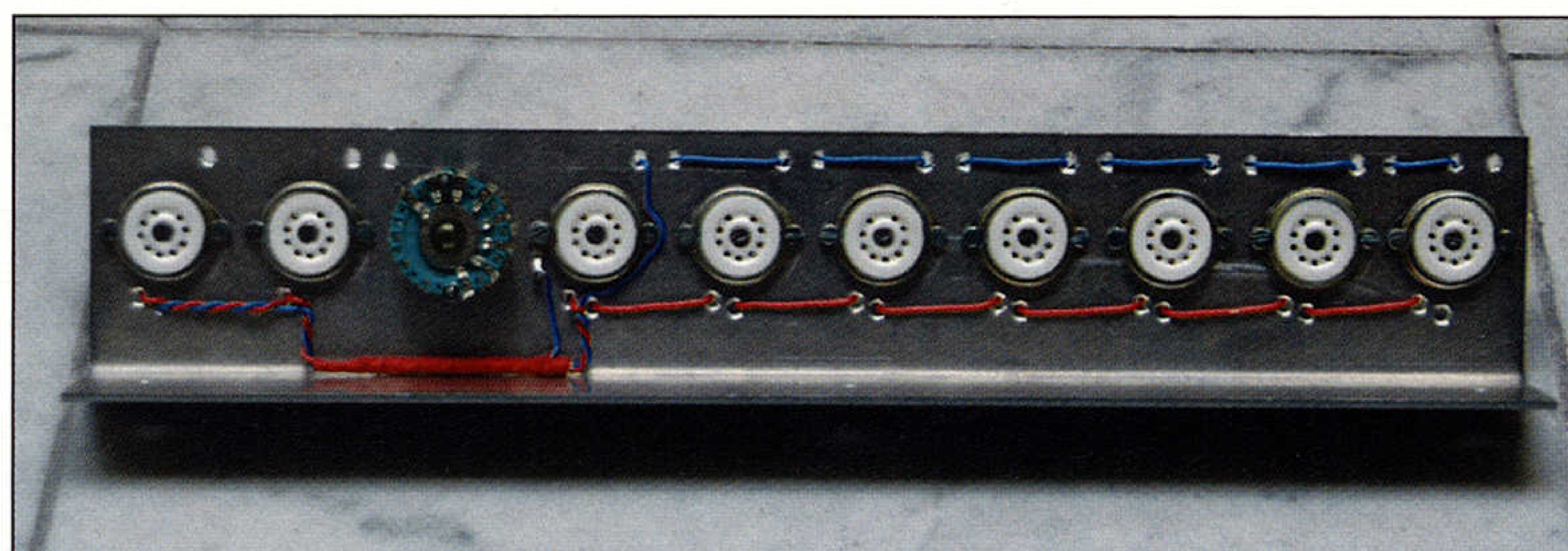
figuur 2: Pin-aansluiting van de gebruikte buizen

figuur 3: MC-MD voorversterker

kant te leggen, zie foto 5. Hierdoor functioneert het subchassis tegelijkertijd als afscherming waardoor gloeidraadbrom in dit ontwerp geen rol speelt.
De gebruikte buizen zijn goed verkrijgbaar en hebben alle dezelfde buisvoet (noval) en pin-aansluitingen, zie figuur 2. Alleen de aansluiting van de gloeispanning verschilt, maar dat wordt bij de bespreking van de voeding nader aangeduid. De specificaties van de gebruikte buizen en hun karakteristieken zijn alle op het internet beschikbaar, zie 4).

De MC-MD voorversterker

In figuur 3 staat het schema van de platenspelervoorversterker. Er zijn twee ingangen per kanaal; voor moving coil (MC) elementen en voor magneto dynamische (MD) elementen. De ingangstransformator MC-10 zorgt voor de tien maal extra versterking die nodig is voor de lage uitgangsspanning van MC-elementen. Zie 5) voor meer details over deze speciale step-up transformator die via een paar (hier niet getekende) externe weerstanden precies op een element kan worden afgestemd. Met de keuzeschakelaar S1 kan voor MC of MD gekozen worden, zie foto 6. De MD-ingang heeft de standaard R101 = 47kOhm ingangsimpedantie. Vaak zie je hieraan parallel ook een ingangscapaciteit van 100pF, maar onze luisterproeven toonden aan dat deze voor doorzichtiger hoogweergave beter weggelaten kan worden; zie ook 6). Weerstand R102 zorgt er voor dat de eerste helft van de ECC88 voorversterkerbuis niet gaat oscilleren. Na de voorversterking in de eerste buishelft volgt een passief RIAA-filter. In 7) wordt de complete theorie van dit filter uitvoerig besproken en de eenvoudige rekenmethoden uit die complexe verhandeling zijn hier toegepast. Daarbij speelt de uitgangsimpedantie van de eerste buishelft samen met R106 een hoofdrol. Heel bewust zijn in de eerste en tweede buishelft de kathodeweerstanden ontkoppeld (met C101 en C106) om de uitgangsimpedantie per buishelft zo laag mogelijk te laten zijn, terwijl de versterkingsfactor dan maximaal wordt en iets minder dan m = 33. Het aardepunt van deze schakeling is aangeduid met het cijfer 4. Zie de bespreking van de voeding voor nadere uitleg over deze aardenummering.
De effectieve versterking van de MD-schakeling is frequentieafhankelijk. Als de uitgangsspanning (bij C107)



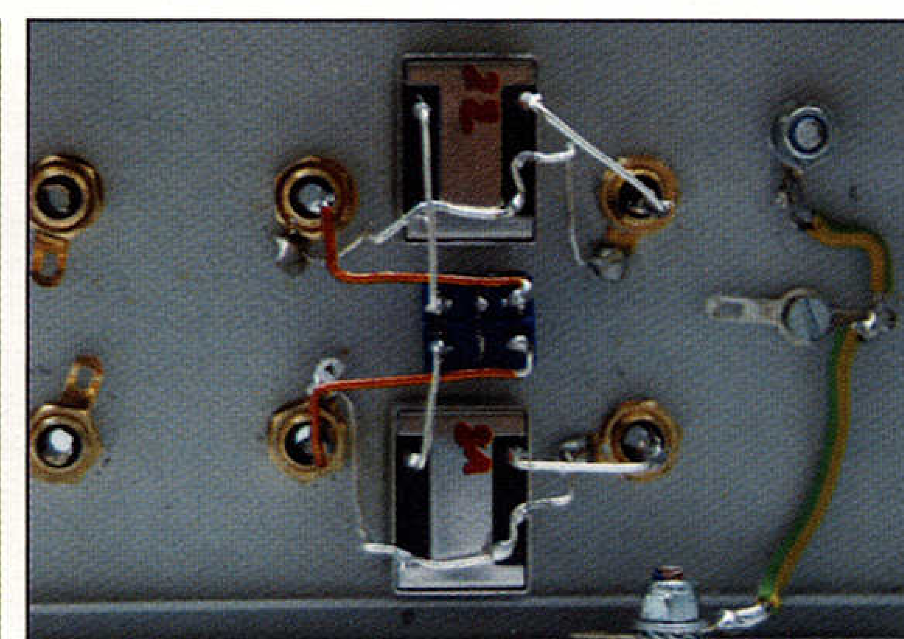
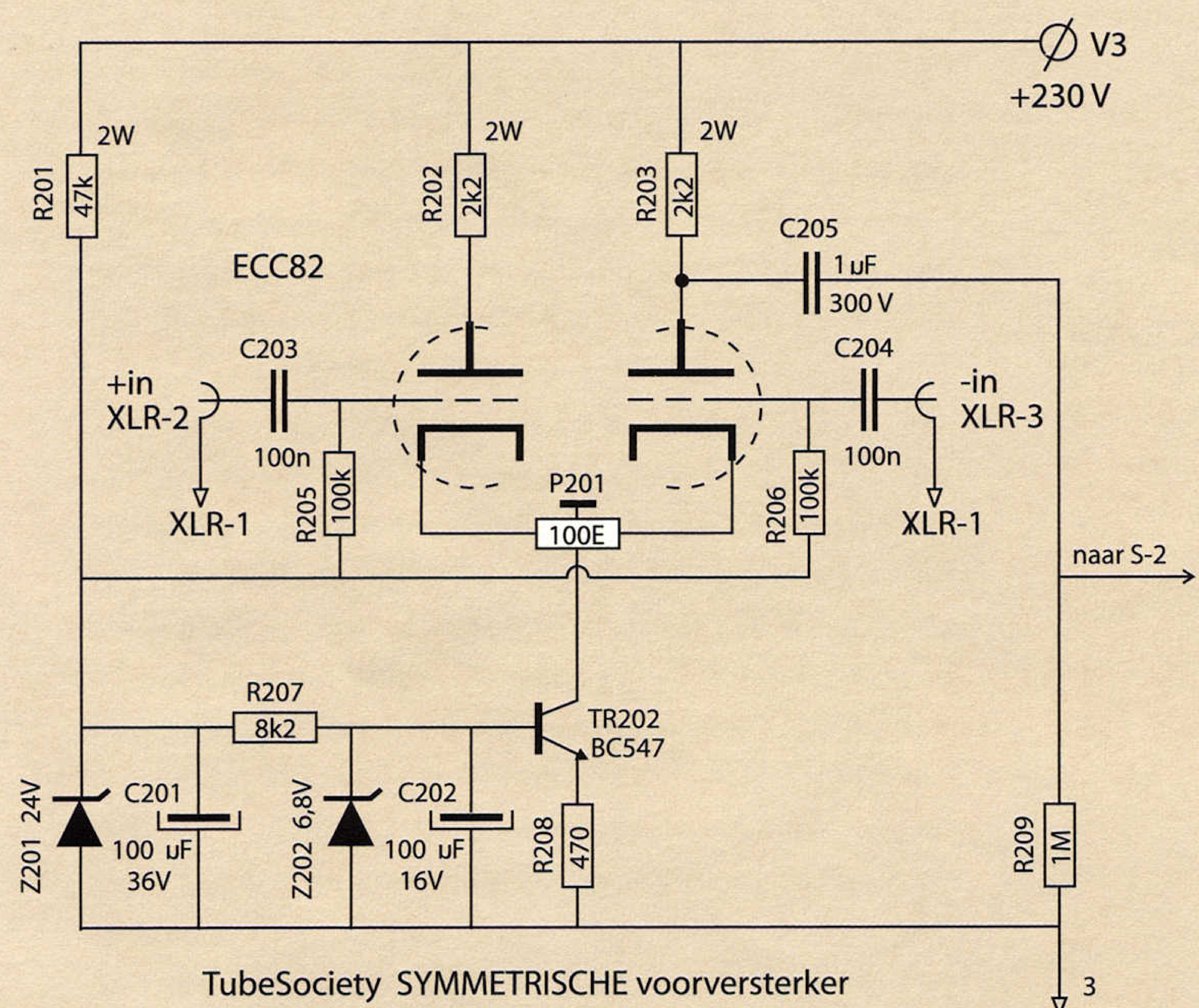
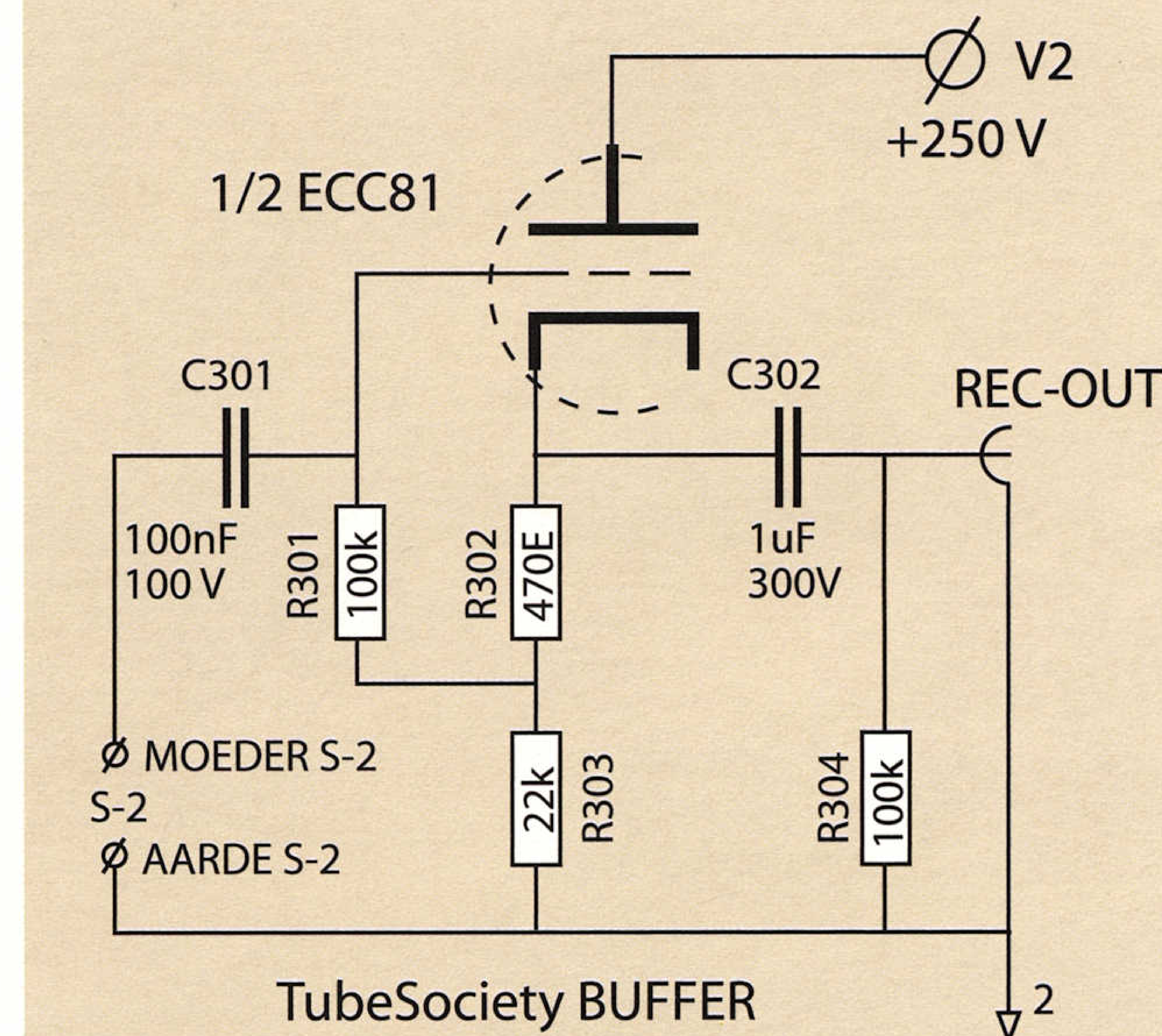


foto 5: aanvoer van de gloeispanning aan de buiskant van het subchassis

foto 6: MC-10 en keuzeschakelaar S-1 vlak bij de MC- en MD-ingangen





figuur 4: Actieve symmetrische ingangsversterker

figuur 5: Recorder buffer

250mV bedraagt, dan is bij 1 kHz de grootte van de MD-ingangspanning gelijk aan 4,3mV. De effectieve versterking is dus 57,5 maal en dit is ruim voldoende. De RIAA-curve zijn bepaald met de in 6) behandelde anti-RIAA meting. Voor het linker kanaal wordt de curve binnen 0,2dB gevolgd, terwijl dit rechts 0,6dB bedraagt. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat de condensatoren C103,104,105 tien procent types waren. Je kunt het dus net goed of iets minder treffen. Opmerkelijk is het grote -3dB frequentiebereik van 20Hz (rumble-grens) tot 60kHz. De extra headroom is door het RIAA-filter eveneens frequentieafhankelijk en bedraagt 45dB bij 20Hz, 44dB bij 1kHz en 33dB bij 20kHz. Deze getallen betekenen dat deze voorversterker niet snel overstuurd zal raken en op tikken in de plaat hoorbaar minder zal reageren dan versterkers met een geringere headroom. De gehele schakeling trekt 11,5mA per kanaal, de buishelften staan daarbij ingesteld in het meest lineaire deel van hun karakteristieken. De luisterindrukken worden verderop besproken.

Symmetrische ingang

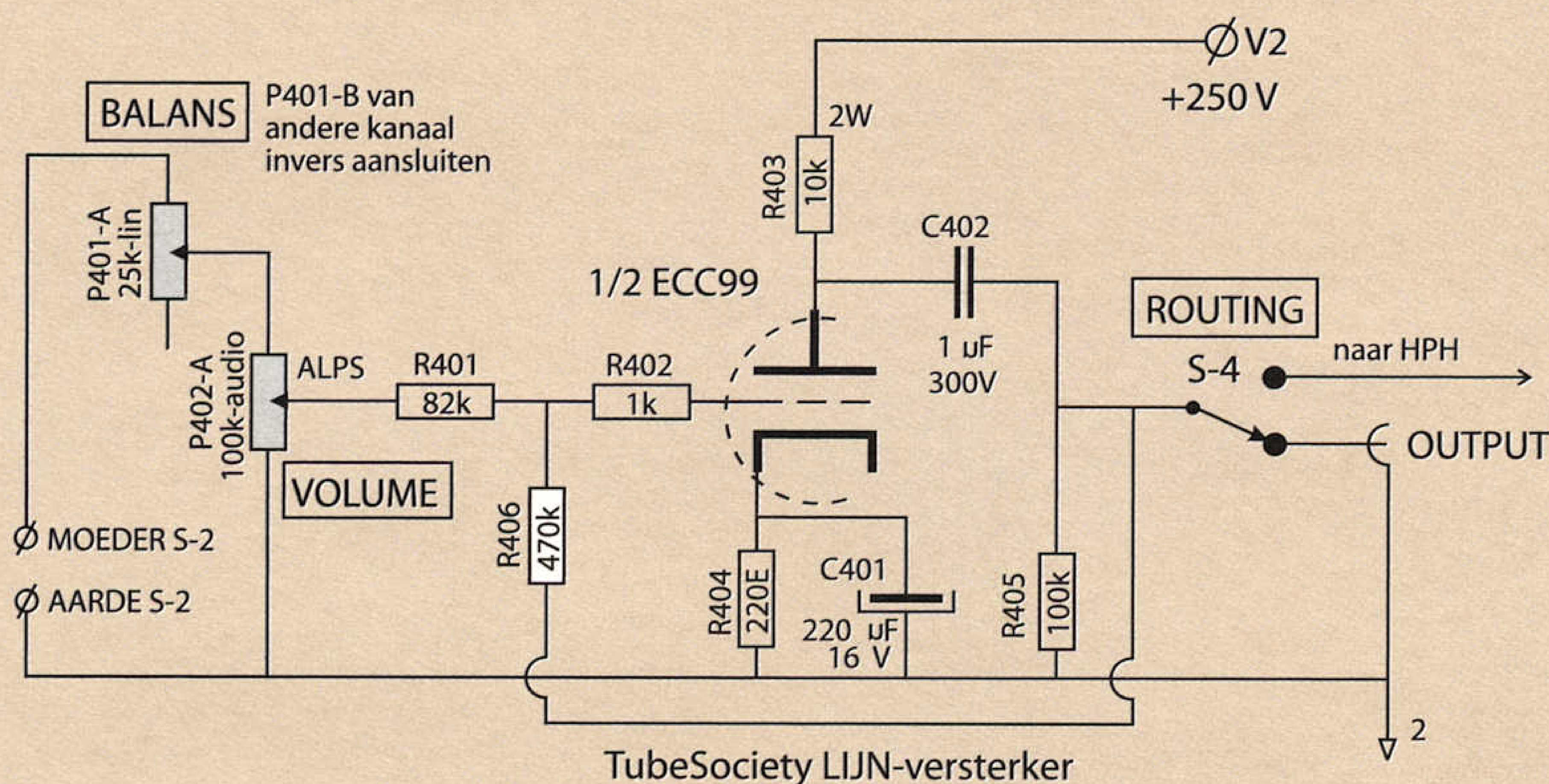
Tegenwoordig zie je steeds vaker CD-spelers met een gebalanceerde uitgang. Om rechtstreekse aansluiting hiervan mogelijk te maken en om de voorversterker te kunnen koppelen aan de uitgang van een professioneel mengpaneel, is de in figuur 4 getekende symmetrische ingangsversterker ontwikkeld. De als verschilversterker geschakelde ECC82 maakt gebruik van een gemeenschappelijke kathode. Deze is verbonden met een zeer hoogohmige stroombron rondom TR201. De stroomsterkte door deze bron volgt uit 6,8V over Z202 (type met minimale ruis) min de 0,6V tussen de basis en emitter van TR202. Over R208 blijft dan een spanning van 6,2V over waardoor de stroomsterkte 6,2V/470W = 13,2mA bedraagt. Met de instelpotentiometer P201 wordt afgeregeld dat beide buishelften precies evenveel stroom (6,6mA) doorvoeren, wat nodig is voor een grote CMRR (common mode rejection ratio). Hiermee wordt bedoeld dat in fase staande signalen op de ingangen bij C203 en C204 zoveel mogelijk worden onderdrukt. Professionele mengpanelen kunnen erg grote signaalvoltages afleveren. Om deze foutloos te verwerken zijn de stuurroosters van de ECC82 door Z201 plus R205,206 opgetild tot +24V. Zelfs bij asymmetrische aansturing loopt de versterker nu niet tegen zijn begrenzing aan. De versterking van de ECC82 bedraagt in deze instelling 1,5 maal en dat is meer dan voldoende. De uitgang van de versterker wordt door C205 enkelzijdig van één anode afgevoerd voor verdere verwerking in de voorversterker. De bij de ingangen genoemde nummers betreffen de pinnummers van een XLR ingang. De belangrijkste meetresultaten van deze schakeling zijn: -3dB frequentiebereik van 16Hz tot ver over 100kHz; CMRR is beter dan 60dB en constant voor alle frequenties van 20Hz tot 20kHz; ingangsimpedantie 2 x 100kOhm; $V_{uit,max}$ = +19dBV. Zie voor de luisterindrukken het einde van dit artikel.

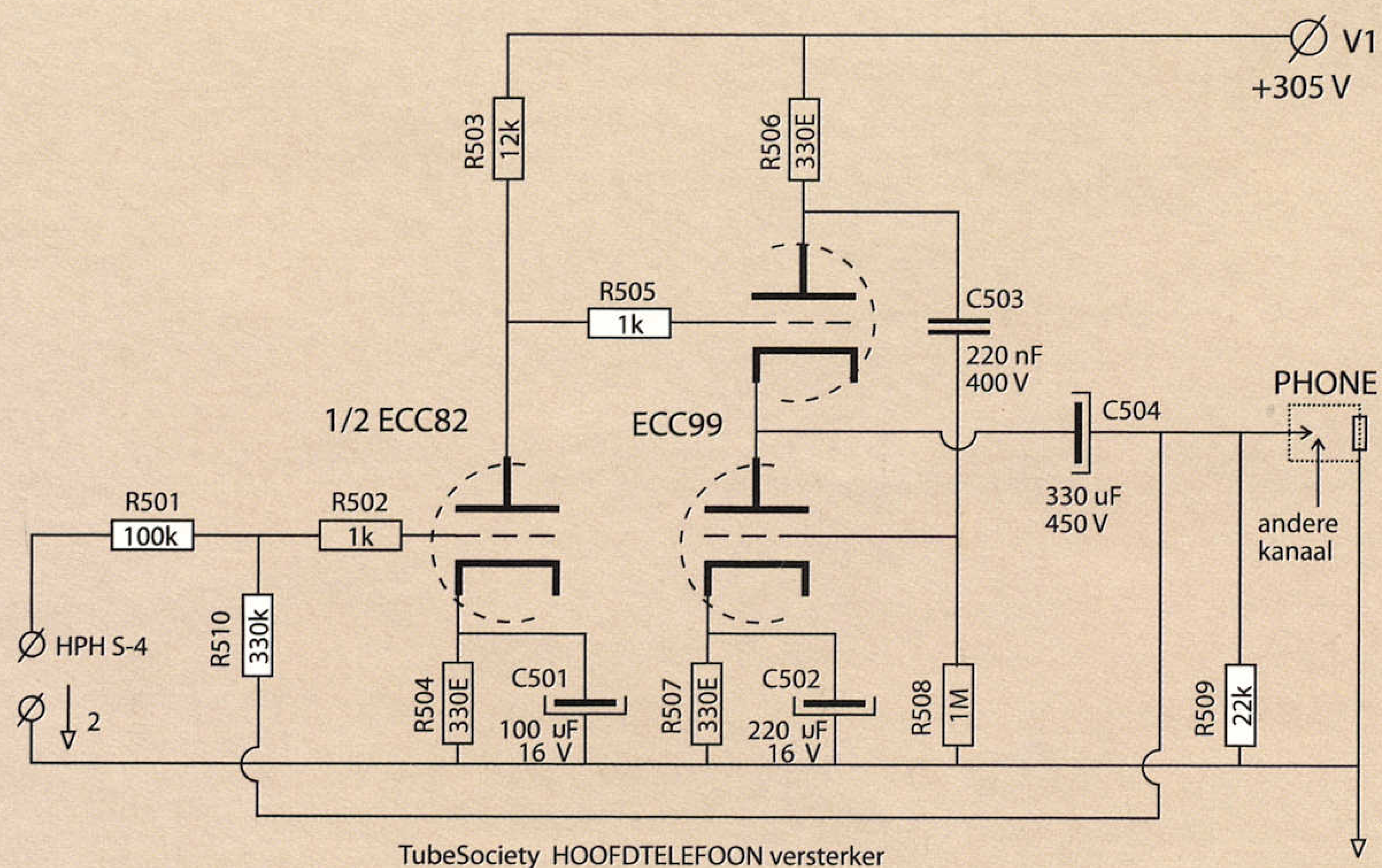
Buffer voor de recorderuitgang

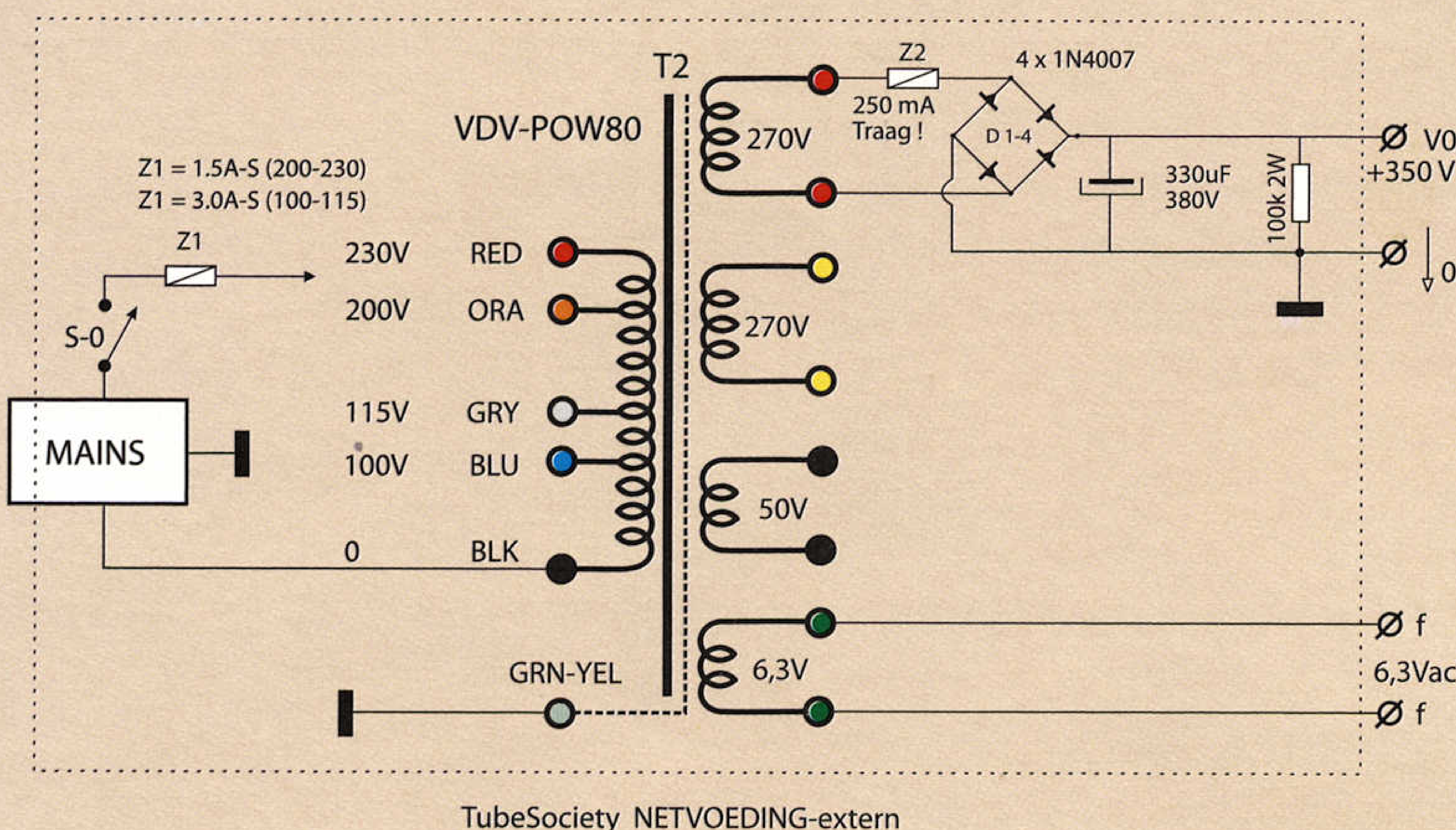
Alle ingangen, inclusief platenspeler en symmetrisch, gaan vervolgens naar de keuzeschakelaar S-2. Hier wordt bepaald naar welke ingang wordt geluisterd. Het moedercontact van S-2 wordt via de bufferschakeling uit figuur 5 naar de recorder gevoerd. Deze buffer zorgt er voor dat eventuele vervorming bij de recorder geen invloed heeft op de audiokwaliteit in de voorversterker. De buffer moet één maal versterken en een lage uitgangsimpedantie hebben. Een standaard kathodevolger voldoet precies aan deze eisen. Het -3dB frequentiebereik loopt van 15Hz tot 1,5MHz als de uitgang belast wordt met 10kOhm, de schakeling trekt een ruststroom van 4,55mA en de uitgangsimpedantie is 350 Ohm terwijl de versterking 1 maal is.

Lijnversterker

Alle audiosignalen lopen uiteindelijk door de lijnversterker van figuur 6 die 4 maal versterkt. Gaan we uit van een optimale uitgangsspanning van 1Veff, dan hebben alle rechtstreekse ingangen een gevoeligheid van 250mVeff. Een ECC99 is hier uitstekend op zijn plaats vanwege zijn







figuur 6: Lijn versterker

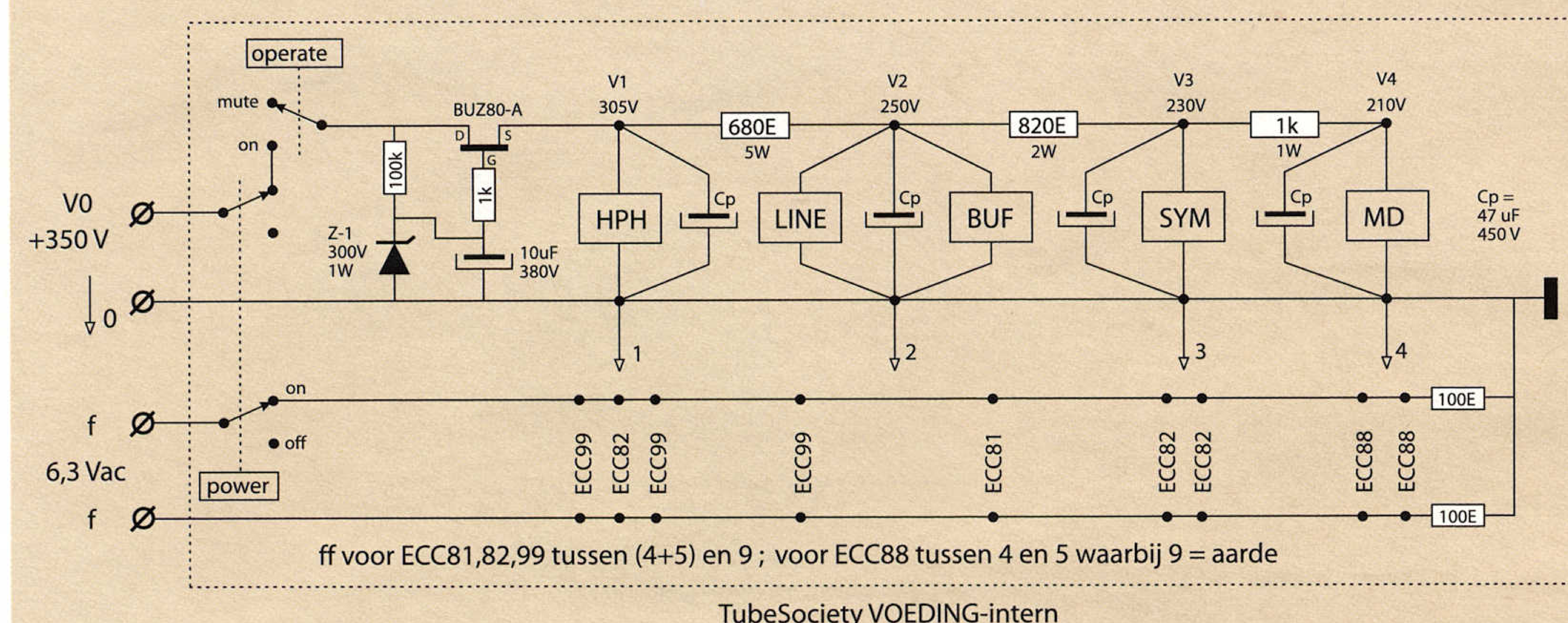
figuur 7: Hoofdtelefoon versterker

figuur 8: Voeding in externe kast

lage inwendige weerstand en voldoende grote open lus versterking. Door de ontkoppelde kathodeweerstand R404 blijft de uitgangsimpedantie laag en gelijk aan de inwendige buisweerstand parallel aan de anodeweerstand R403. De redelijk grote open lus versterking wordt door de tegenkoppeling met R401 en R406 tot effectief 4 maal teruggebracht, terwijl hierdoor ook de uitgangsimpedantie nog eens extra daalt. Dit laatste is beslist noodzakelijk omdat anders de inwendige capaciteit van lange coaxkabels tussen voor- en eindversterkers de bandbreedte te veel zou beperken. De ingangsimpedantie van de lijnversterker plus volumeregelaar P402 op maximumstand bedraagt 50 kOhm. De voorgeschakelde balansregelaar P401 (sluit het andere kanaal precies omgekeerd aan) heeft per kanaal een regelbereik van 3,5dB (dus is er maximaal 7dB verschil regelbaar tussen links en rechts). Dit lijkt weinig, maar de functie van deze balansregelaar is slechts het opvangen van kleine versterkingsverschillen. De MD en symmetrische versterkers opereren namelijk open lus waardoor eventuele verschillen in hun buisparameters de correcte balans zullen beïnvloeden. Het regelbereik van P401 is ruim voldoende om deze verschillen op te vangen. Anders gezegd: deze balansregelaar zorgt er voor dat je "de stem in het midden" precies in het midden kunt instellen. Het -3dB frequentiebereik van de lijnversterker loopt van 5 Hz tot 55kHz bij een belasting van 10kOhm door de eindversterker en een uitgangsspanning van 1Veff. In eerste instantie lijkt het hoogbereik wat gering, maar voor audio is het meer dan voldoende. Zie parallel aan R406 de Miller-capaciteit tussen het stuurrooster en de anode van de ECC99. Deze begrenst de bandbreedte tot de genoemde 55kHz. Per kanaal trekt de schakeling 15 mA en de uitgangsimpedantie is 500 Ohm. De maximale uitgangspanning met zeer lage harmonische vervorming bedraagt in een belasting van 10kOhm 28Veff = 29dBV.

Hoofdtelefoon versterker

De hoofdtelefoonversterker van figuur 7 maakt aan de uitgang gebruik van de bekende White kathodevolger; zie 8). Op het internet is over de schakeling veel geschreven en wordt deze als een OTL versterker aangeduid, zie 9). Het belangrijkste kenmerk van de White kathodevolger is dat hij complexe belastingen met capaciteiten goed kan aansturen. De laad en ontlaadtijden worden kunstmatig aan elkaar gelijk gemaakt door de "tegenkoppeling" rondom C503 plus R508. De eisen die aan deze schakeling gesteld worden zijn zwaar omdat de meeste hoofdtelefoons tegenwoordig een impedantie van 32 Ohm hebben. Voor een enkele voorversterkerbuis is het dan niet gemakkelijk om voldoende spanningszwaai aan de uitgang te bereiken. Voor de ECC99 staat een halve ECC82 die zorgt voor voorversterking (de ECC99 versterkt hier slechts 1 maal) die vervolgens door middel van tegenkoppeling door R501 met R510 tot een effectieve versterking van 2 maal wordt teruggebracht. Het -3dB frequentiebereik van de gehele schakeling in een 32 Ohm belasting loopt van 6Hz tot ruim 180kHz. De maximale onvervormde uitgangsspanning in 32 Ohm bedraagt $6V_{tt} = 2{,}1V_{eff}$. We kunnen dit gegeven koppelen aan de gevoeligheid van bijvoorbeeld een PMX100 Sennheiser hoofdtelefoon. Die levert bij $1V_{eff}$ een geluidsdruk van $114dB_{SPL}$ op de oren. Met deze hoofdtelefoonversterker wordt de maximale geluidsdruk dan $114 + 20\log[2{,}1/1] = 120dB_{SPL}$. Deze maximale geluidsdruk is meer dan voldoende en ligt bij langdurig luisteren zelfs in de gevarenzone van oorbeschadiging. Veel goede maar oudere hoofdtelefoons hebben een impedantie van 160 Ohm of hoger. Deze versterker geeft dan onvervormd evenredig meer spanning af, zodat voldoende luid luisteren gewaarborgd is. Aan de uitgang zit nog die vervelende elco C504 van 330 μF met een werkspanning van minstens 300V. Hiervoor is de snap-in versie van BC-components gebruikt en die klinkt gelukkig prima. De uitgangsimpedantie bij C505 bedraagt effectief 14 Ohm en dat is laag genoeg om iedere hoofdtelefoon goed te dempen. Sommigen prefereren een ho-



figuur 9: Interne voedingsschakeling

gere uitgangsimpedantie. Dat kan door aan de uitgang een extra serieweerstand op te nemen met de optimale afsluitimpedantie voor de desbetreffende koptelefoon.

De voeding

De netvoeding bestaat uit twee delen: een extern kastje met daarin de nettrafo en eerste gelijkrichting (zie figuur 8) en de verdere verwerking van de voedingsspanning in de voorversterker (zie figuur 9). Er is heel bewust gekozen voor een externe voedingstrafo, omdat het lekveld ervan nu geen storende en brommende aardstromen in de gevoelige audioschakelingen kan opwekken. Hierdoor hadden we een redelijke vrijheid van de keuze van aardepunten en de ligging van de afgeschermde kabels. De nettrafo is de VDV-POW80 waarvan slechts één enkele hoogspanningswikkeling is gebruikt. De gehele voorversterker gebruikt ongeveer 120mA van de hoogspanning en een enkelvoudige wikkeling kan al 180mA leveren; zie 10) voor meer details. De hoogspanning wordt gelijkgericht en gebufferd met 330 µF, hierover staat een ontlaadweerstand van 100kOhm. Via een vieraderige afgeschermde kabel, gekoppeld aan de zeer goed afgeschermde 4-polige Speakon plug, gaan de 350V hoogspanning en de 6,3V gloeidraadspanning naar de eigenlijke voorversterker.

In de voorversterker wordt met de power-schakelaar de gloeidraadspanning en de hoogspanning aan/uit geschakeld. De "operate"-schakelaar schakelt vervolgens afzonderlijk de hoogspanning nog eens, waardoor "mute" en "on" mogelijk zijn geworden. De hoogspanning wordt met de Mosfet BUZ80-A en bijbehorende componenten van zijn storende en brommende rimpelspanning ontdaan. Tevens zorgt deze schakeling voor een langzame (in 0,5 s) inschakeling van de hoogspanning, waardoor de "power" en "operate" schakelaarcontacten niet zullen inbranden. Via R-C-netwerken worden de verschillende versterkerblokken van elkaar ontkoppeld waardoor overspraak via de voeding voorkomen wordt. Nu is ook de functie van de al eerder genoemde verschillende aardepunten duidelijk zichtbaar. Per versterkerblok wordt een steraarde gecreëerd en via de bijbehorende Cp ontkoppeld. Op deze manier zullen aardstromen van veel stroom vragende schakelingen (zoals de hoofdtelefoonversterker) niet in de gevoelige schakelingen (zoals de MC-MC-trap) door kunnen dringen. Aardepunt 4 wordt tevens stevig aan de kast gekoppeld zodat de gevoeligste schakeling de beste afscherming van de kast krijgt.

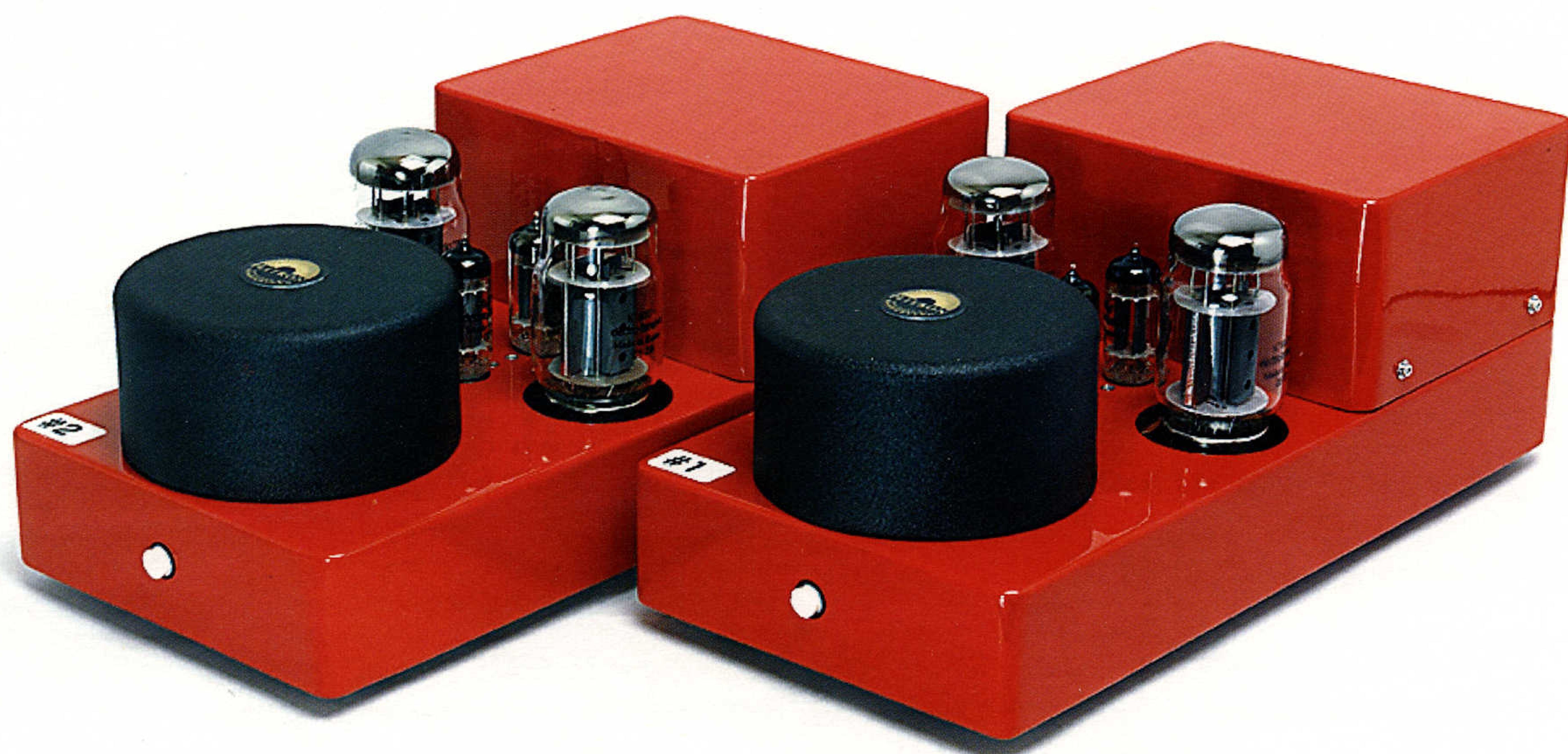
De gloeidraadspanning van 6,3V wordt naar alle buizen gevoerd. Het schema geeft aan welke pinnen per buis gebruikt moeten worden. Bij de MC-MD-trap wordt de gloeispanning naar aarde gerefereerd met behulp van twee 100 Ohm weerstanden. Dit is voldoende om geen last te hebben van enige brom via de gloeidraden.

Bouwadviezen en luisterindrukken

In de voorversterker zijn consequent koolweerstanden toegepast, want die vinden wij het meest muzikaal klinken. De audiosignaal dragende bekabeling bij de MC-MD versterker is 1mm zilverdraad van Siltech. Voor de rest is de dunne zilver coaxkabel van Johan Ketelaar toegepast. Alle schakelaars worden door 2) geleverd, de buisvoeten en knoppen komen van 11), de volumeregelaars zijn van Alps en de montagebordjes zijn afkomstig van 12). De lijnversterker heeft een paar dagen inspeeltijd nodig, maar als dat is gebeurd dan klinkt deze bijzonder open en snel en dynamisch. Het is goed hoorbaar dat de ECC99 stevig stroom trekt en daardoor geen problemen heeft om grote dynamische signalen af te leveren. In alle dynamiek blijft het geluidsbeeld uiterst stabiel. De MC-MD-trap klinkt warm en ruimtelijk, ruis is onhoorbaar terwijl tikken op de plaat inderdaad zacht blijven klinken. De ECC88 buizen van Mullard voldoen hier prima. De recorderbuffer doet wat hij moet doen: gewoon het signaal doorgeven. De symmetrische ingang is uiterst stil en heeft een soort "glad" karakter door de sterke afwezigheid van enige stoorsignalen. Luisteren over de hoofdtelefoon is een genot, het geluidsbeeld is uiterst direct en doortekend.

verwijzingen:

1: www.mennovanderveen.nl / tubesociety
2: www.farnellinone.nl
3: www.dekleine.nl
4: www.duncanamps.com
5: www.mennovanderveen.nl / transformatoren
6: www.WaltJung.org : Lipshitz & Jung: "A high accuracy inverse RIAA network"
*7: Stanley P. Lipshitz: "On RIAA Equalization Networks *1"; JAES 1979 June, pp.458-481.*
8: H. de Waard: "Electronica", hoofdstuk 5.7
9: www.headwize.com / projects
10: www.mennovanderveen.nl / projectnummer 9
11: www.amplimo.nl
12: www.business.conrad.nl
13: voor nadere vragen: info@mennovanderveen.nl



100 Watt monoblock versterker met KT88 eindbuizen

DOOR SATORU KOBAYASHI

Deze 100 W buizenversterker, ontworpen door Satoru Kobayashi (Tokyo, Japan) is een krachtpatser van allure. Slechts twee eindbuizen, op een slimme manier geschakeld en juist gevoed, zijn volledig in staat om het fikse vermogen breedbandig met lage vervorming te leveren. Dit bijzondere ontwerp geeft ons een goede gelegenheid om eens te kijken in de Japanse keuken. Zij doen het anders dan wij en bereiken daarmee uitzonderlijke resultaten.

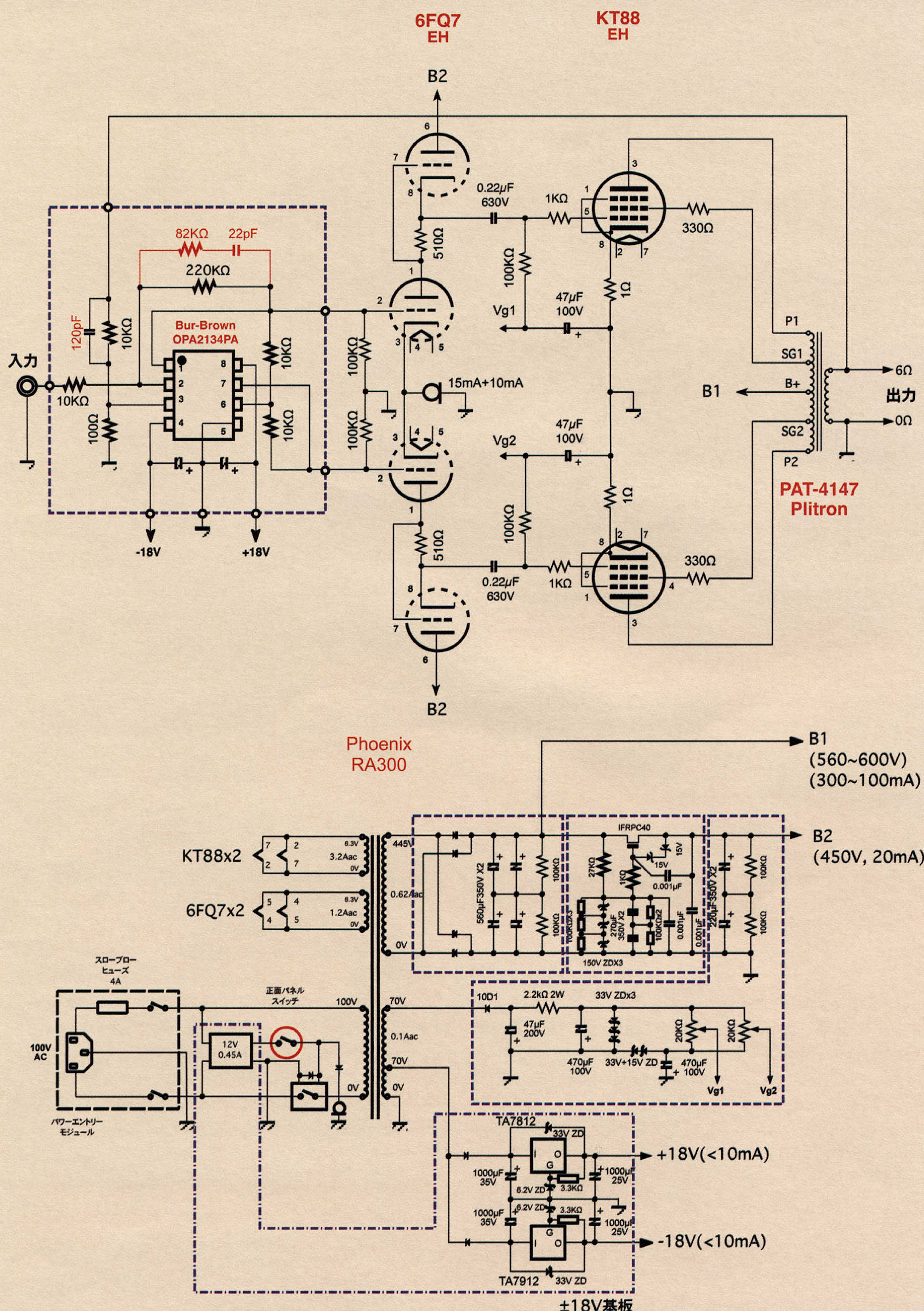
Al een tijdje was ik op zoek naar een 100 Watt versterker voor mijn B&W 802 luidsprekers. Daarvan is bekend dat ze moeilijk aangestuurd kunnen worden door versterkers met een klein vermogen. Ze hebben eigenlijk een grootvermogen halfgeleiderversterker nodig. Ik wilde ze graag met buizen gebruiken en dat vormde de aanleiding voor de nieuwe versterker van dit artikel. Een paar jaar terug had ik al een 70 Watt KT88 stereo balansversterker ontwikkeld, maar ik vond deze 70 Watt net te weinig terwijl die versterker ook nog loeizwaar is. De versterker die ik nu bespreek is niet zwaar, hij kan gemakkelijk 100 Watt leveren en is uitgevoerd als een monoblock met een ringkern uitgangstransformator.

Ingangsversterker, fasedraaier en stuurtrap

Aan de ingang van de versterker (zie figuur 1) zit een hybride schakeling, bestaande uit een dubbele operationele versterker plus een aanstuurbuis in differentiële SRPP schakeling. Deze sectie kan de eindbuizen gemakkelijk aansturen met een lage vervorming en groot frequentiebereik.

Een balansversterker heeft een fasedraaier nodig. Met een operationele versterker kun je een ideale fasedraaier maken. Ik gebruik de overbekende OPA2143PA van Burr Brown. Het is een dubbele operationele versterker waarvan de eerste gebruikt wordt als een 22 x inverterende spanningsversterker, ingesteld met de weerstanden van 220 en 10 kOhm. Deze versterkingsfactor is nagenoeg gelijk aan de spanningsversterking van triodes als de 12AU7 (μ = 17) of de 12AT7 (μ = 33). De tweede sectie van de OPA2134PA is de eigenlijke fasedraaier met versterkingsfactor van -1, ingesteld door de twee 10 kOhm weerstanden. Deze schakeling kan een uitgangspanning van 30 Vpp leveren bij een +/-18 V voeding. In vergelijk met een buizenschakeling zijn de lineariteit en frequentiebereik uitzonderlijk goed.

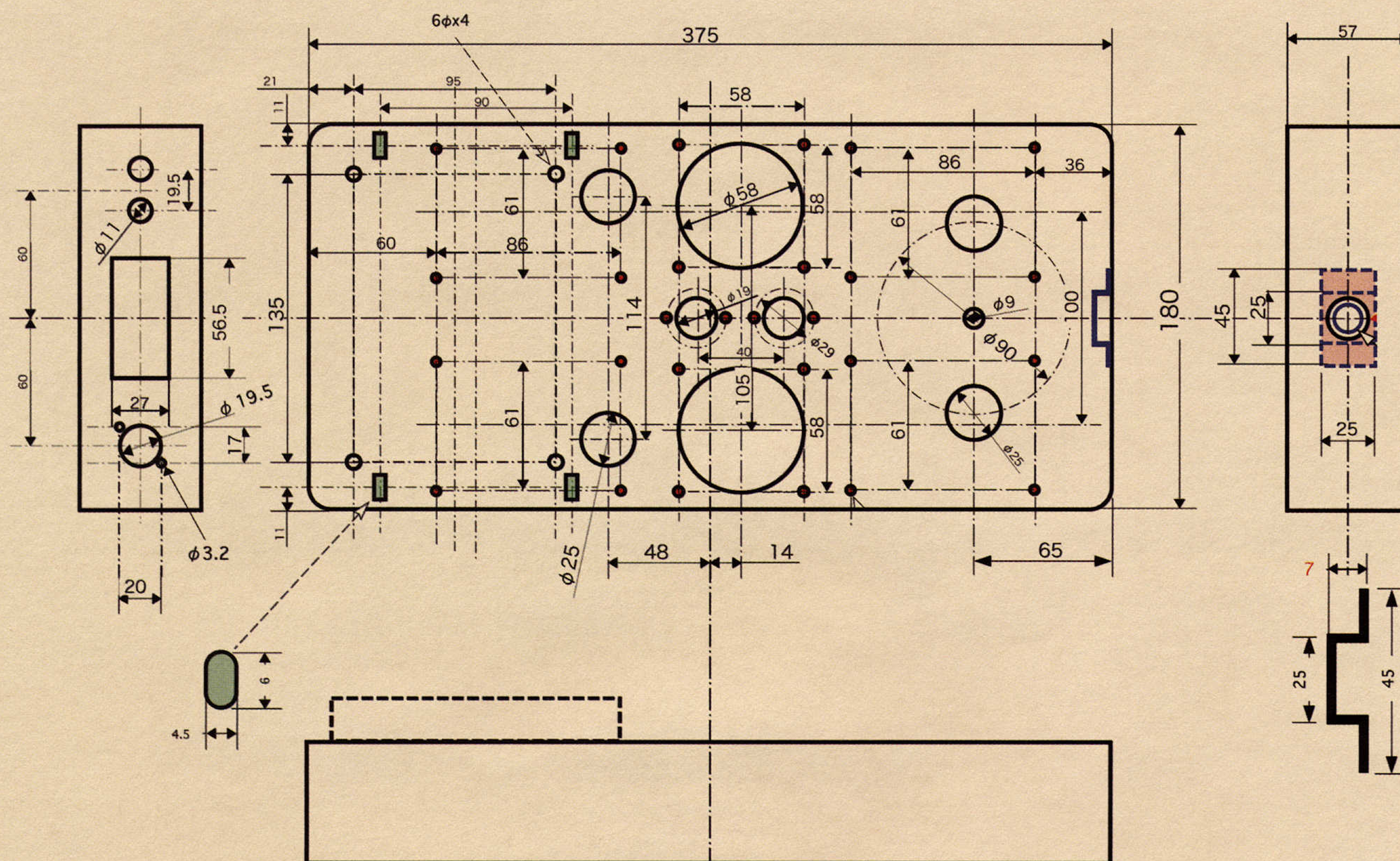
Hierna volgt een 6FQ7 buis die als differentiële SRPP spanningsversterker is ingesteld. Deze kan gemakkelijk een uitgangspanning van 200 Vpp leveren met lage uit-



gangsimpedantie en hoge lineariteit. Dit spanningsbereik overtreft de 140 Vpp stuurspanning die de twee KT88 eindbuizen gezamenlijk nodig hebben. De SRPP schakeling heeft in de gemeenschappelijke kathode een "CRD-current regulated" diode die daar als stroombron functioneert. In Japan zijn deze diodes zeer bekend, ze worden gemaakt door Ishizuka Denshi; zie 1). Ik heb twee diodes parallel toegepast; één van 10 mA en de andere van 15 mA. In de actuele schakeling bleek de werkelijke gemeten stroomsterkte 20 mA te bedragen.

De ingangsversterker en fasedraaier en stuurtrap vormen gezamenlijk een heel eenvoudige schakeling waarbij zelfs geen koppelcondensatoren nodig zijn.
Moet je nu wel of niet tegenkoppeling toepassen in buizenversterkers? Normaal doe ik dat niet, want meestal vermindert tegenkoppeling de geluidskwaliteit. Deze keer besloot ik echter om een geringe tegenkoppeling van 10dB te gebruiken om de dempingsfactor voor de B&W luidspreker en de harmonische vervorming nog meer te optimaliseren. De tegenkoppeling wordt inge-

figuur 1: schematuur



figuur 2: kasttekening

steld met de 10 kOhm (plus 120 pF parallel) en 100 Ohm weerstanden, nu aangesloten op de positieve ingang van de ingangsversterker (die immers inverterend is geschakeld). Om ringing bij hoge frequenties te voorkomen zijn over de 220 kOhm weerstand van de spanningsversterker een extra 82 kOhm weerstand in serie met een kleine 22 pF capaciteit opgenomen. Zie verderop bij de meetgegevens waar de effecten van deze kleine correctie van de tegenkoppeling behandeld worden.

De eindtrap

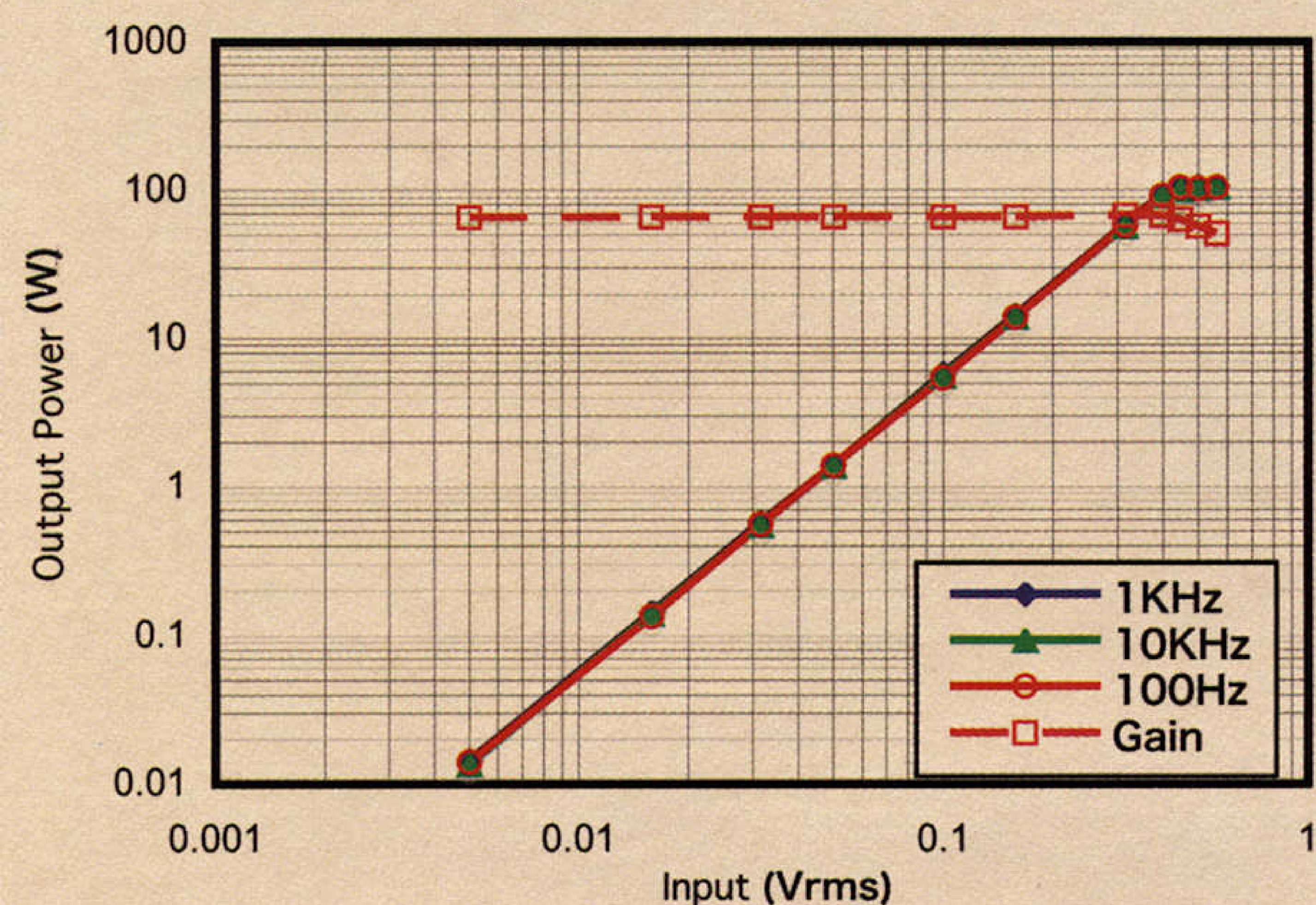
Via koppelcondensatoren van 0,22 µF gaat het audiosignaal naar de stuurroosters van de eindbuizen. De ruststromen door de eindbuizen wordt met de instelbare negatieve spanningen Vg1 en Vg2 ingesteld. Hun waarde ligt ergens tussen -66 en -99 V. In de kathodeleiding van iedere KT88 zit een weerstand van 1 Ohm om de ruststroom met een mV meter te kunnen meten.
De ringkern uitgangstransformator is zowel bij Amplimo (met nummer VDV4147) als Plitron (met nummer PAT4147) verkrijgbaar. Deze transformator heeft een primaire impedantie Z_{aa} = 4,7 kOhm als de secundaire met 8 Ohm wordt belast. Met deze primaire impedantie staan de twee KT88 eindbuizen in hun optimale instelling voor maximaal uitgangsvermogen.
Over de KT88 buizen is heel veel bekend; op het web en in veel tijdschriften barst het van gegevens over deze beroemde buis. Ik koos de door GEC (General Electric Company) aanbevolen instelling met de volgende belangrijkste parameters: B1 = 560 V, Ultra lineaire schakeling van de schermroosters, de negatieve voorspanning op de stuurroosters bedraagt -75 V, de ruststroom per eindbuis moet 50 mA zijn, het stuursignaal tussen beide stuurroosters moet maximaal 140 Vpp bedragen. Onder deze condities kan de versterker 100 Watt vermogen leveren. Gelukkig zijn de verliezen in de VDV4171 ringkern transformator gering, zodat er nauwelijks aan deze 100 Watt grens geknabbeld gaat worden.

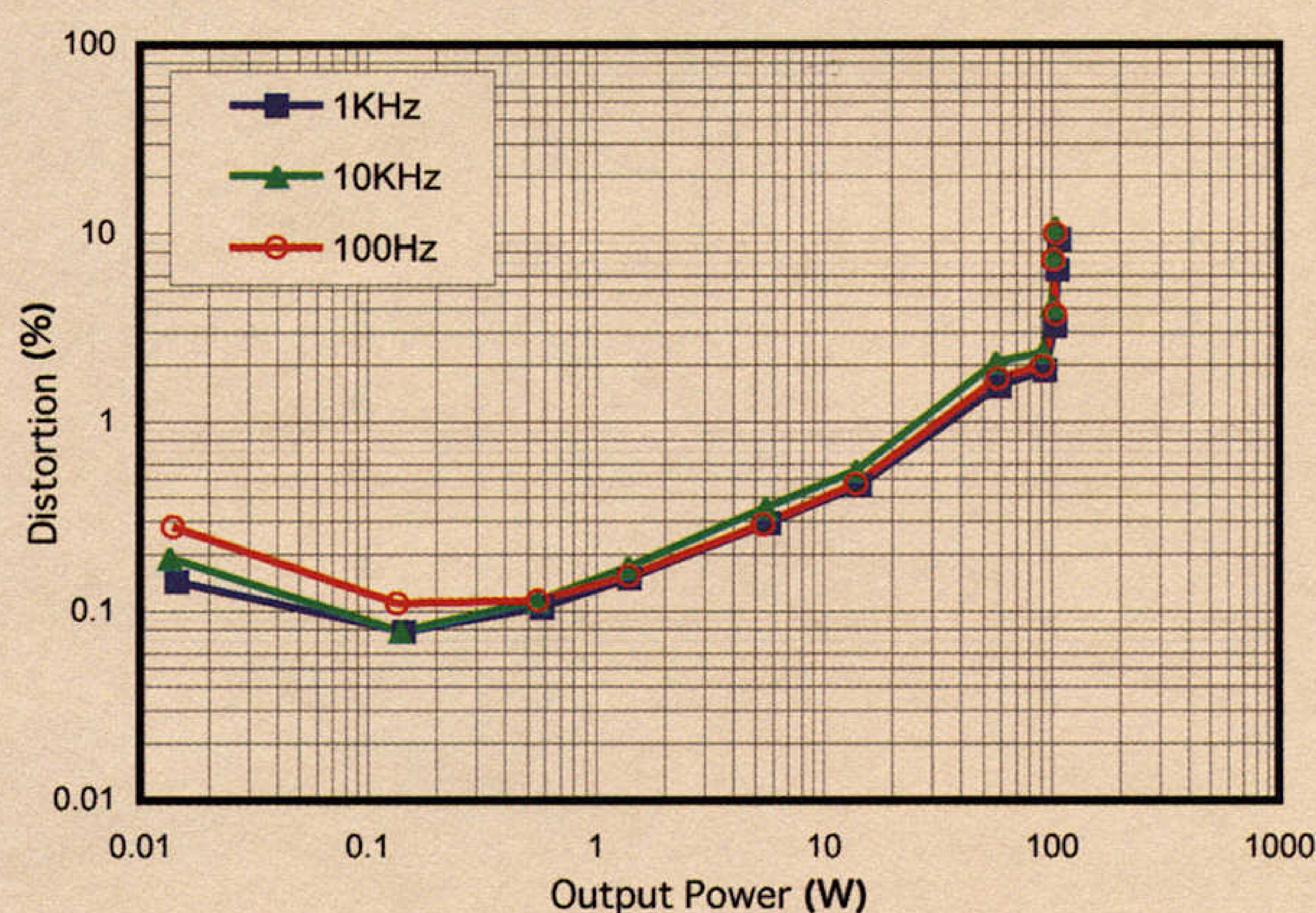
De voeding

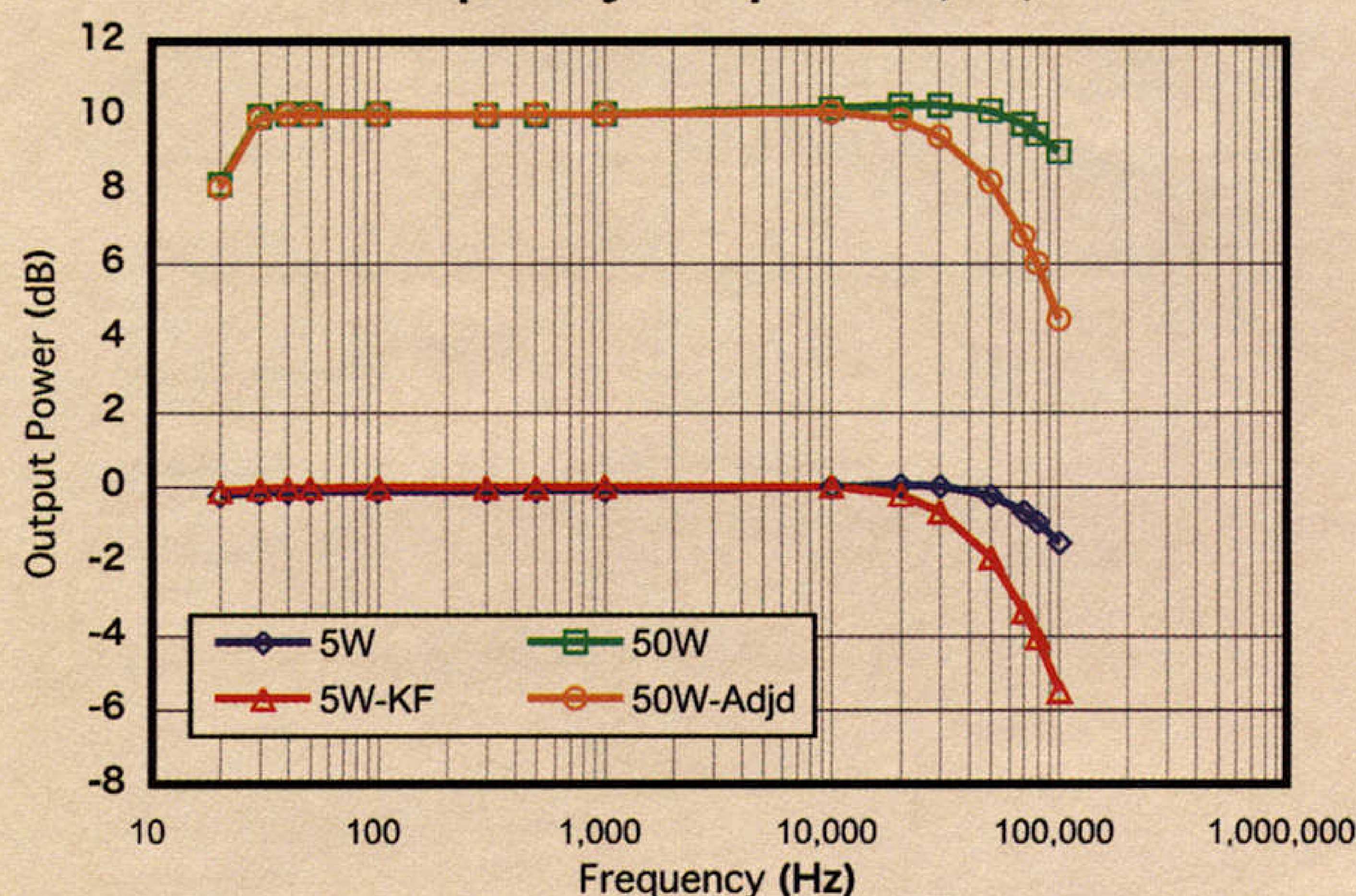
Als voedingstransformator gebruikte ik deze keer een zogenaamde R-kern transformator omdat Plitron geen passende ringkern transformator beschikbaar had. (Opmerking: In Japan worden de ringkerntrafo's door Plitron via vertegenwoordiging door Tec-Sol-Inc geleverd. In Europa levert Amplimo. Die heeft deze voedingstrafo onder nummer 8N1603S in ringkern uitvoering in het verkoopprogramma opgenomen.) De R-trafo met typenummer RA300-082 wordt gemaakt door Phoenix Corporation (zie 2) in Nagado, waar in 1998 de Olympische Winterspelen werden gehouden. Zie tabel 1 voor nadere gegevens over deze transformator.

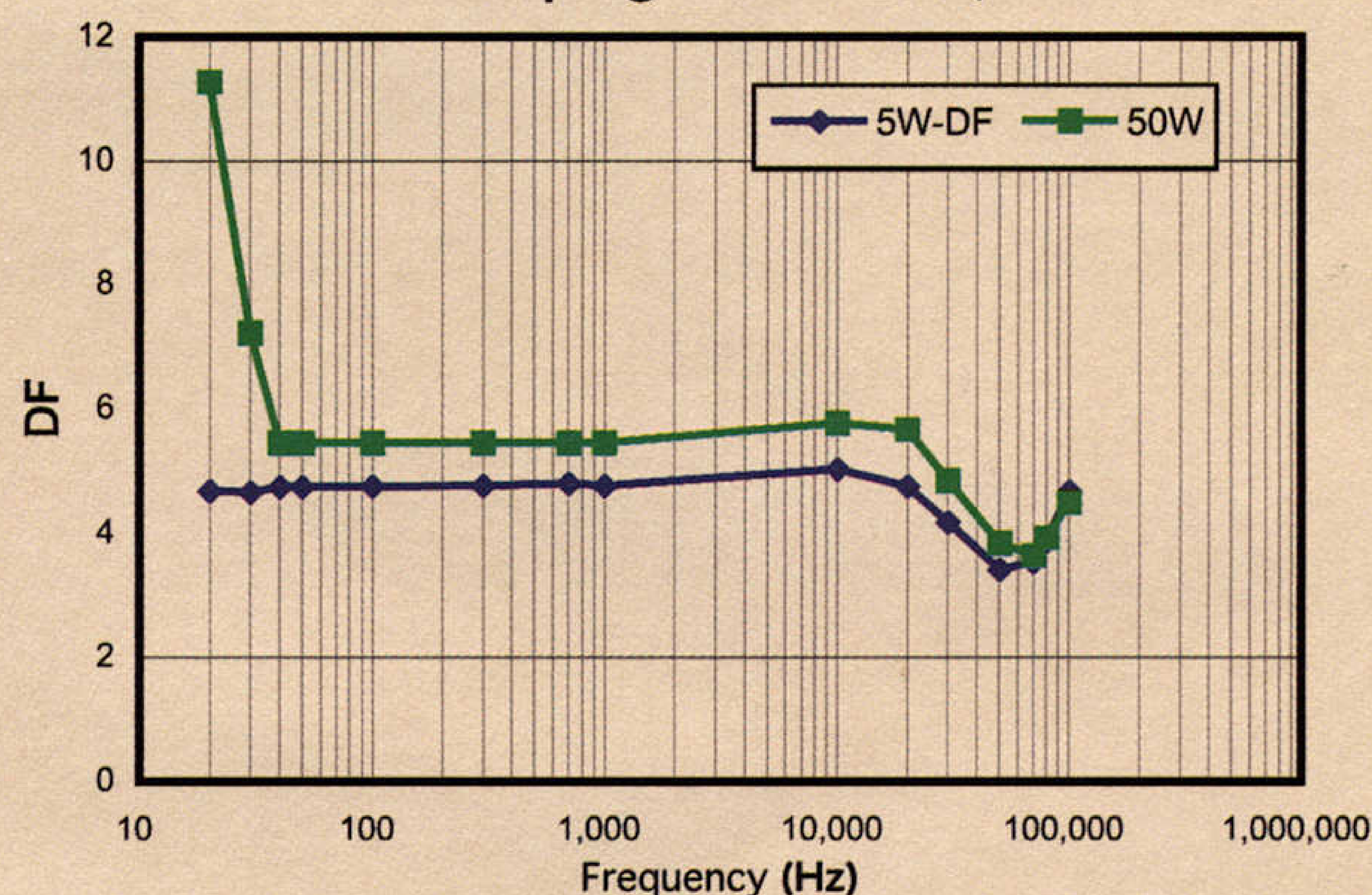
Model nummer	Phoenics RA300-082
Primair	0-100-115 V
	0-100-115 V
Secundair	0-450V ; 0,7 Aac
	0-20-70 V ; 0,12 Aac
	0-6,3 V ; 3,2 Aac
	0-6,3 V ; 1,2 Aac
Afmetingen	160x127x70 mm
Thermische zekering	170 °C ; 250 V 5 A

tabel 1: gegevens van de voedingstransformator









figuur 3: metingen
links boven: de lineariteit van de ingangsspanning en het uitgangsvermogen bij verschillende frequenties
rechts boven: de harmonische vervorming bij verschillende frequenties als functie van het uitgangsvermogen
links onder: frequentie karakteristieken bij 5 en 50 Watt zonder en met de tegenkoppelingcorrectie
rechts onder: de dempingsfactor (gerelateerd aan 8 Ohm) bij 5 en 50 Watt vermogen als functie van de frequentie

Met een conventionele diodebrug van vier 1200V 8A "hyper" diodes van Fairchild plus vier in serie-parallel geplaatste 560 mF 350 V elektrolytische condensatoren wordt de hoogspanning gelijkgericht en gebufferd. Over de condensatoren staan 100 kOhm ontlaadweerstanden. Deze schakeling levert onder rustcondities een hoogspanning van B1 = 600 V met daarop een rimpel van 1,5 Vrms. Onder maximale belasting, bij maximaal uitgangsvermogen, zakt B1 tot 560 V en wordt de rimpelspanning 2Vrms.

Na de hoogspanning B1 volgt een MOSFET schakeling waarmee uiterst effectief de rimpelspanning wordt onderdrukt (< 10mV) en de voedingsspanning wordt gestabiliseerd tot B2 = 450 V. Deze schone spanning wordt aan de stuurbuizen 6FQ7 aangeboden.

De negatieve roosterspanning wordt afgeleid van een extra 70 V wikkeling en met behulp van zenerdiodes in het benodigde gebied tussen -66 en -99 V gebracht. Ik heb 20 kOhm Bourns potentiometers toegepast voor de instelling van Vg1 en Vg2 om een langdurige en betrouwbare stabiliteit te garanderen. Op de 70 V wikkeling zit ook een 20 V tap die twee keer enkelzijdig gelijkgericht wordt voor twee spanningsstabilisatoren van +18 V en -18 V waarmee de OPA2134 gevoed wordt. De gloeidraden van de buizen worden door twee zwevende 6,3 V wikkelingen gevoed.

Voor de primaire wikkeling van de voedingstrafo zit een kleine 12 V schakelende voeding die een relais aanstuurt waarmee de netspanning geschakeld wordt. Deze schakeling heeft uitsluitend de functie om met een miniatuur schakelaartje de versterker te schakelen en wordt hier niet verder besproken.

Opmerkingen over de constructie

In de schematuur van figuur 1 zijn met blauwe stippellijnen printjes afgebakend waarop de bijbehorende componenten zijn gemonteerd. De afmetingen van die printjes bedragen 100x75 mm, met uitzondering van de ingangsprint die slechts 50x50 mm meet en direct naast de RCA-ingang is geplaatst. De printjes zijn gemaakt van 70m koper en daarna verguld. De verbindingspunten zijn van het type kroonsteen, geleverd door het Duitse bedrijf Weidmuller.

Figuur 2 toont de boortekening van de kast waarvan de afmetingen 375x180x57 mm bedragen. Ik heb deze kast met CAD software ontwikkeld zodat op de computer (zie foto 2) al direct zichtbaar was hoe het er uit gaat zien. Bewust heb ik in dit ontwerp de buizen in het midden geplaatst, waardoor de koppeldraden zo kort mogelijk zijn. Door de korte afstanden en de eenvoudige schakeling kunnen de meeste componenten direct en vrijdragend gemonteerd worden.

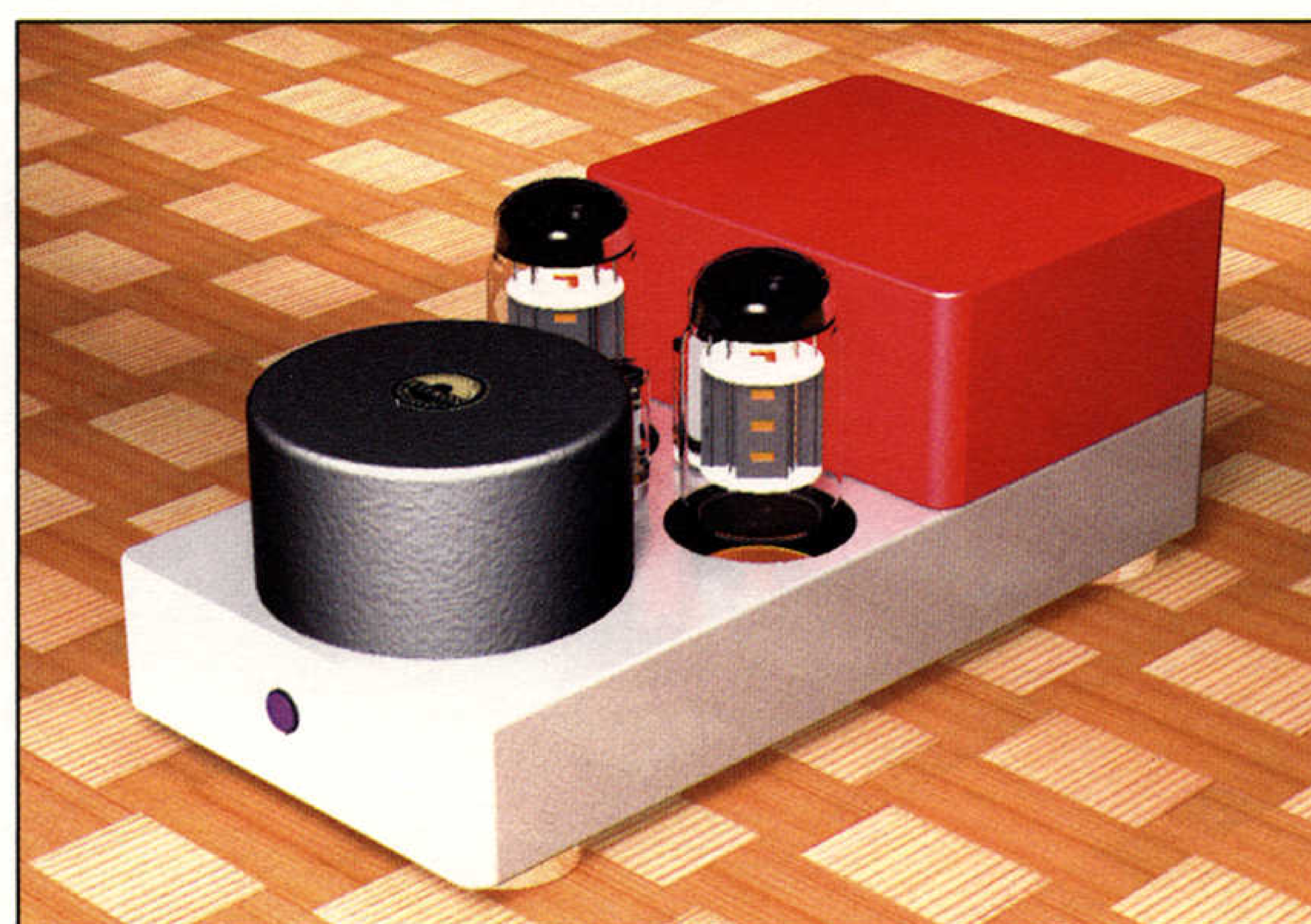
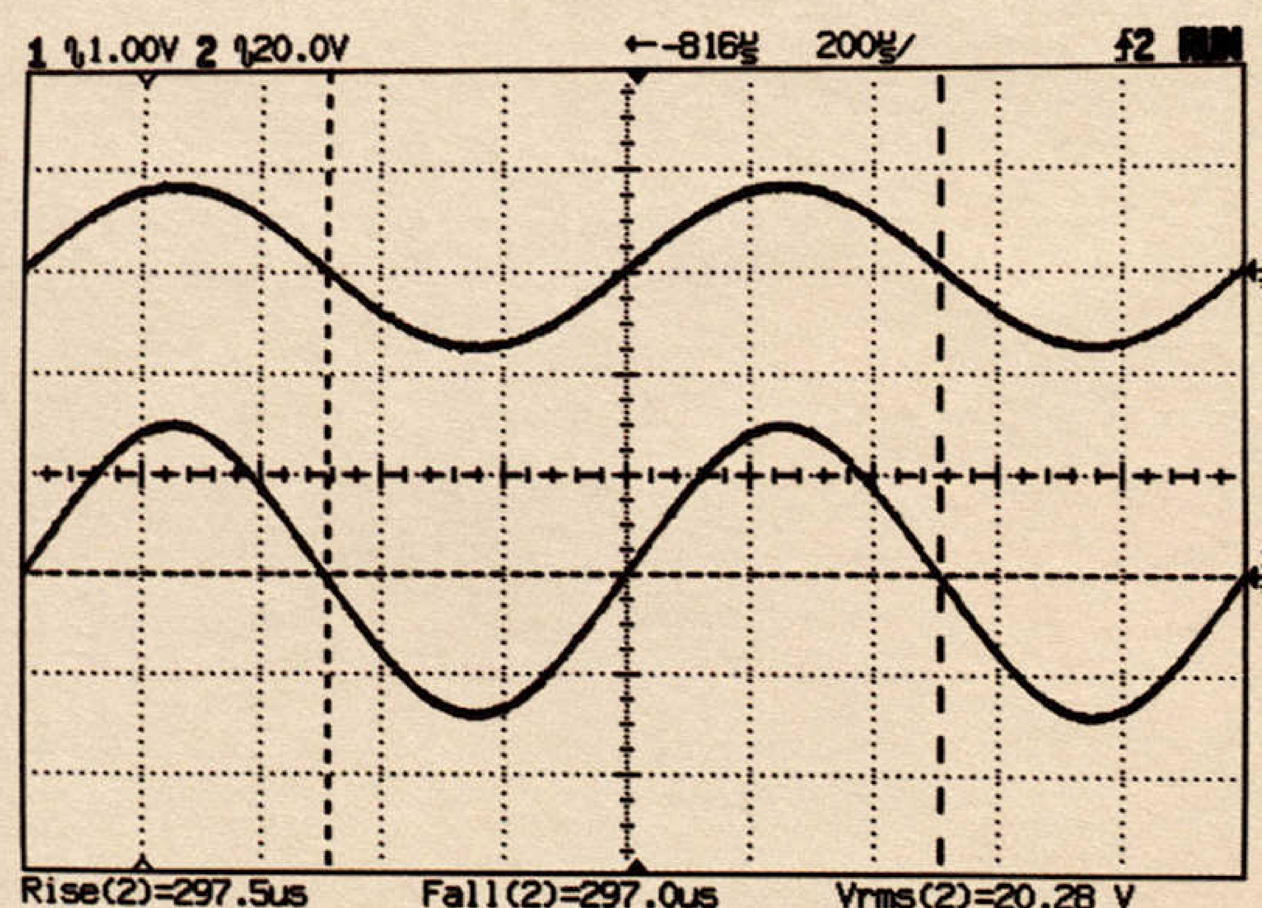
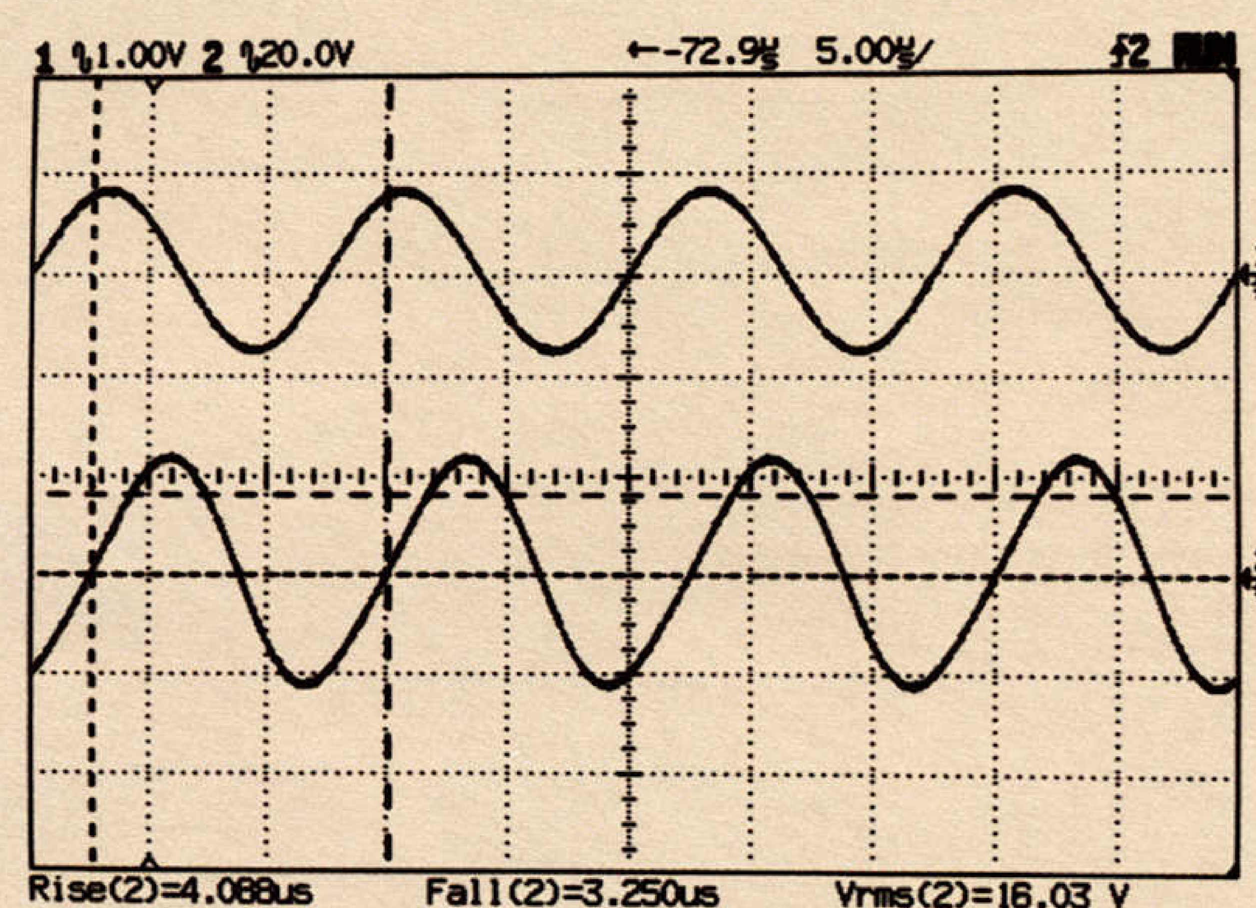
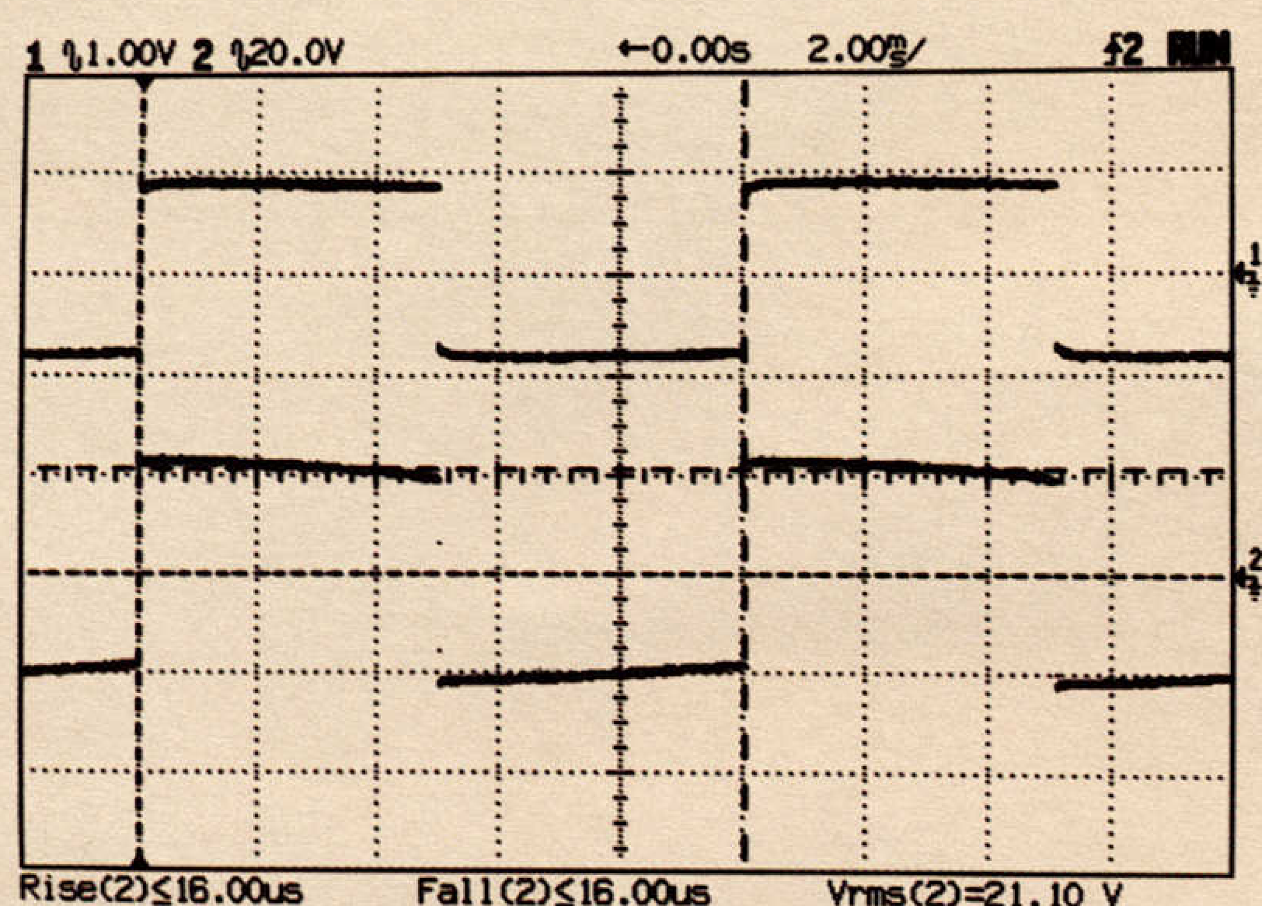
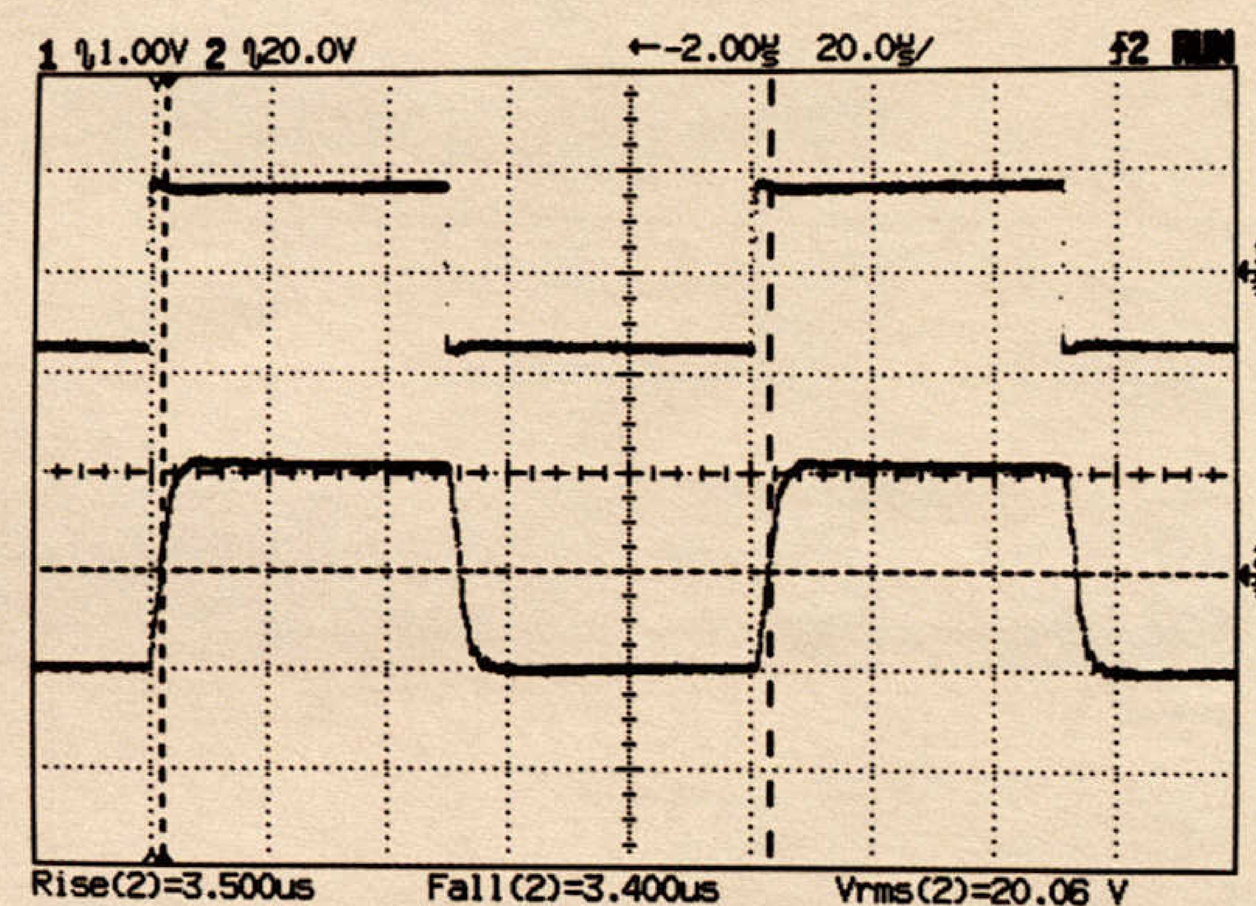


foto-2: CAD impressie van de voorstudie









figuur 4: golfvormen van testsignalen

foto-4a: 10kHz sinus ingang (boven) en uitgang (onder)

foto-4b: 70kHz sinus, de aanzet van slewing is zichtbaar

foto-4c: 100Hz blokgolf bij correcte balancering

foto-4d: 10kHz blokgolf zonder overshoot

Opstarten van de versterker

Als alle componenten op hun plaats zitten en alle draden zijn aangelegd, dan begint natuurlijk de grote controle of alles juist gedaan is. Een waarschuwing is hier nodig omdat in de versterker heel grote spanningen van meer dan 500 V voorkomen, dus opletten en heel zorgvuldig langzaam handelen en bewegen.

Het is verstandig om de versterker voor de eerste keer zonder buizen op te starten. Eerst moet de goede werking van de opamp schakeling gecontroleerd worden met een 1kHz ingangssignaal dat 22 keer versterkt en in tegenfase op de twee uitgangen dient te verschijnen. Een oscilloscoop en toongenerator zijn voor deze test een minimale vereiste. Test vervolgens met een voltmeter of de voedingsspanningen aanwezig zijn. Let daarbij uitdrukkelijk op de negatieve roosterspanning Vg1 en Vg2 die met hun potentiometers zo negatief mogelijk (-99 V) moeten worden ingesteld.

Plaats nu de buizen in hun voeten en schakel de versterker aan, waarbij voltmeters over de 1 Ohm weerstanden van de KT88 eindbuizen zijn geplaatst. Regel nu de instelpotentiometers voor Vg1 en Vg2 zo af dat over die 1 Ohm weerstanden een spanning van 50 mV komt te staan. Deze test zal een aantal malen herhaald moeten worden, want de eindbuizen hebben een zekere inspeeltijd nodig voordat ze een stabiele ruststroom van 50 mA hebben.

In principe is de versterker nu klaar voor gebruik. Echter de weergave van een 100 Hz blokgolf kan nog doorzakken vertonen. Dit kan met een oscilloscoop aan de uitgang worden gecontroleerd en enigszins bijstellen van de ruststroom van één van de eindbuizen is voldoende om dit te voorkomen.



foto-3: Versterker in opbouw

Metingen

De meetresultaten staan in figuur 3. De grafiek links-boven toont de lineariteit tussen uitgangsvermogen en ingangsspanning. Hier is duidelijk te zien dat de versterker ruim 100 Watt in de 8 Ohm belasting kan leveren. De grafiek rechts-boven toont de harmonische vervorming en deze blijft keurig onder 3 % voor de verschillende frequenties. De meting bij 100 Hz blijkt sterk afhankelijk te zijn van de paring van de eindbuizen en de correcte blokgolfinstelling, zoals hierboven aangegeven. Ik heb aardig wat KT88 buizen getest, afkomstig uit Rusland en China. Per merk kan de vervorming bij 100 Hz wat afwijken.

De grafiek links-onder toont het frequentiebereik bij een uitgangsvermogen van 5 en 50 W, in alle gevallen met tegenkoppeling. De onderste grafieken behoren steeds bij tegenkoppeling met de al eerder genoemde correctieschakeling (82k+22pF) over de 220 kOhm weerstand. Door deze correctie daalt het -3dB bereik van 100 kHz naar 70 kHz, echter de versterker is dan volledig stabiel en vertoont geen uitslingeringen.

De grafiek rechts-onder toont de dempingsfactor, ge-

relateerd aan een 8 Ohm belasting. Deze meting is met de zogenaamde aan-uit methode gedaan, waarbij de 8 Ohm belasting verbonden en los is van de uitgang, terwijl steeds de bijbehorende uitgangsspanning wordt gemeten. Van 20 Hz tot 20 kHz heeft de dempingsfactor een stabiele waarde van ongeveer 5.
De brom en ruis aan de versterkeruitgang zijn samen minder dan 2mV en daardoor niet hoorbaar, zelfs met de oren op 50 cm voor de luidspreker. Figuur 4 laat een aantal testsignalen zien die alle goed schoon en snel zijn, zonder enige ringing, alsof het pulssignalen zijn van een digitaal circuit. Ook de 100 Hz blok is goed schoon, zonder enig doorzakken, na afstelling van de ruststromen, zoals hiervoor beschreven.

Luisterindrukken

Dit is een krachtige versterker, dus ik vond dat hij ook met stevige muziek getest moest worden. Ik koos big band muziek (zie CD's) op luid volume. De combinatie versterker en B&W802 luidsprekers creëerde een luisterniveau alsof ik bij een live uitvoering was. Zo stevig en doortekend en ruimtelijk had ik deze CD's nog nooit ervaren. De buren kwamen zelfs klagen. Uit deze test bleek dat je inderdaad een stevige versterker nodig hebt om de B&W luidsprekers tot maximale prestaties te brengen. De klank en ruimteweergave en plaatsing waren allen excellent, waarbij ik nu ieder instrument haarscherp kon onderscheiden. Ook de stemweergave van de tweede CD was uiterst natuurlijk. Later heb ik zacht en luid getest en op alle luisterniveaus bleef de weergave uitmuntend.

Bronnen:

1) Ishizuka Denshi: www.semitec.co.jp/english/
2) Phoenix Corporation: www.pnxcorp.co.jp/
3) For questions and remarks please contact: n_koba@kb4.so-net.ne.jp

Gebruikte CD's:

CD-1: "Segue in C"; Count Basie Orchestra onder leiding van Bill Hughes, in het CD album "Base is Back"; SACD hybrid CD-2: "Lulleby of Bird land"; Mel Tome & Georg Shearing, in het CD album "Swing Journal Critics Requenst Concord Best"

Na het behalen van de bachelorgraad heeft Satoru Kobayashi gewerkt voor de Japanse halfgeleiderindustrie als DRAM chip designer, in de marketing en als product/planning ingenieur. Al die tijd was hij vol toewijding bezig met zijn hobby's zoals audio, amateur radio, skiën en golven. In Amerika presenteerde hij zijn ontwerpen zoals een 50MHz 500W lineaire versterker, een 70W KT88 hybride audioversterker, een 3CX300A1pp versterker, een SE 300B versterker, enzovoort.

6336A Stereo Triode Balans Eindversterker

DOOR WIM DE HAAN

Triodeversterkers blinken uit door hun gedetailleerde geluidsbeeld. Wim de Haan gebruikt een 6336A dubbeltriode eindbuis voor een balansversterker met een uitgangsvermogen van 17 Watt per kanaal. Hij past in zijn ontwerp geen tegenkoppeling toe en bereikt ondanks dat een extreem groot frequentiebereik en een opmerkelijk hoge dempingsfactor voor strakke basweergave.

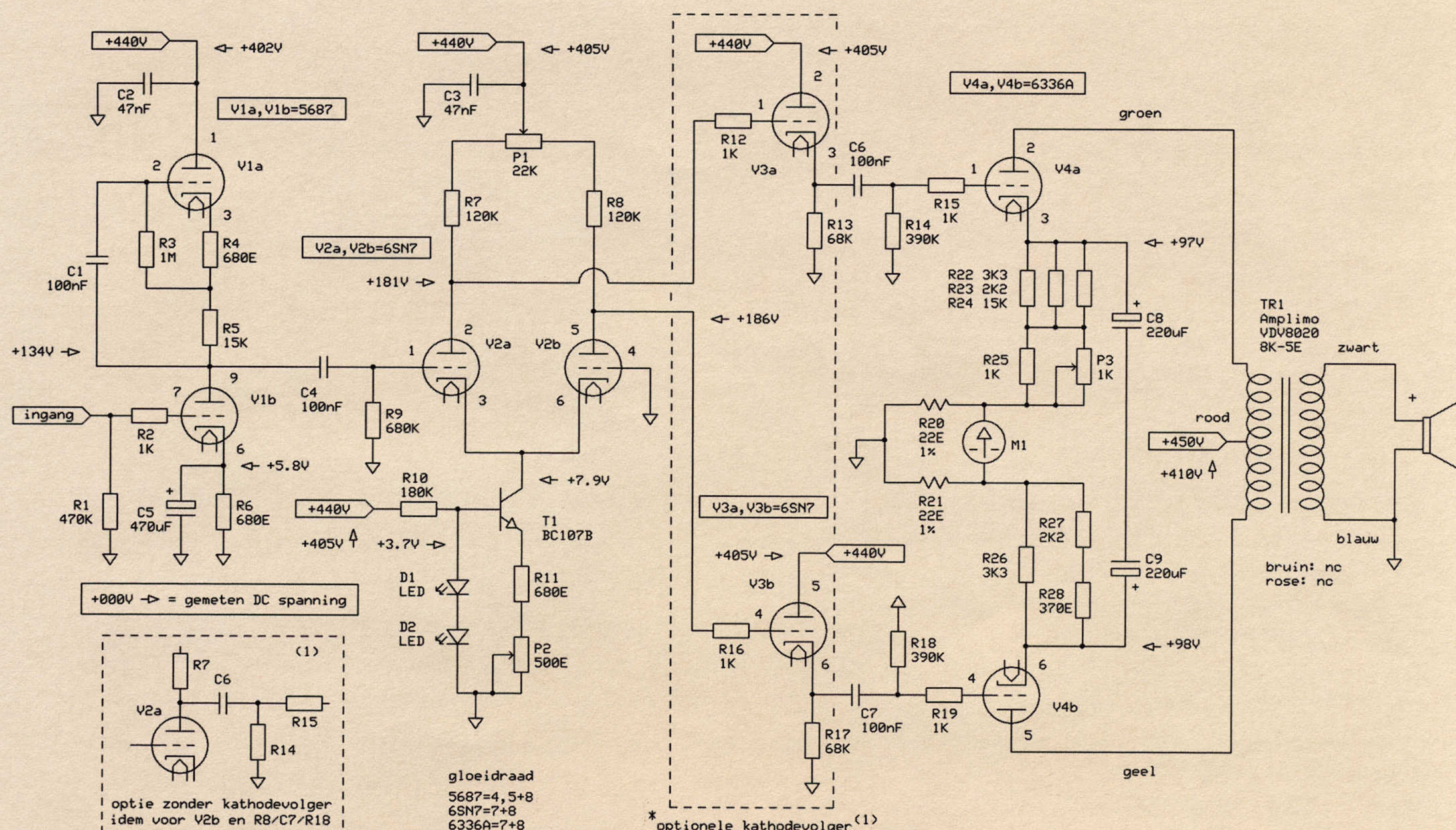
Dit artikel gaat over een 17 Watt buizen eindversterker waarin uitsluitend triodes worden toegepast. De eindbuis is de tamelijk onbekende 6336A vermogenstriode. Hierin zitten 2 triodesecties, geplaatst in één glaskolf, met maximaal 30 watt anodedissipatie per triode, een bijzonder lage inwendige weerstand, een gloeistroom van 5A en een versterkingfactor van slechts 2,7. De 6336A is oorspronkelijk ontworpen voor gebruik als stabilisatiebuis in voedingen.
Het hier gepresenteerde ontwerp is een balansversterker (push-pull) met uitgangstransformator. Een zogenaamde Output TransformerLess (OTL) schakeling zou een optie zijn geweest, vooral omdat de inwendige weerstand van de 6336A heel laag is. Echter een OTL is complex en niet altijd betrouwbaar. Ook is OTL erg kritisch voor een optimale luidsprekerimpedantie. Om deze redenen is afgezien van een OTL ontwerp.
Voor maximaal uitgangsvermogen zou de uitgangstransformator een lage primaire impedantie moeten hebben. Dit ontwerp maakt echter bewust gebruik van een relatief hoge primaire impedantie, met als resultaat minder maximaal uitgangsvermogen. Echter de harmonische vervorming wordt nu gering zonder dat er enige tegenkoppeling nodig is.
Er is weinig gepubliceerd over de toepassing van de 6336A in balansversterkers. Luxman heeft in het verleden een balansversterker op basis van de 6336A geproduceerd, de KMQ80. Helaas was tijdens het ontwerp van mijn versterker het schema hiervan niet beschikbaar.

Het ingangscircuit

Deze versterker maakt geen gebruik van tegenkoppeling. Bij de eerste opzet van het ontwerp moet hier al rekening mee worden gehouden. De totale versterking zal voor een eindversterker 20 tot 28 dB moeten bedragen. Ook moeten de verschillende versterkertrappen ontworpen worden op minimale vervorming, omdat er achteraf niets meer wordt gecorrigeerd.
De spanningsversterker in het ingangscircuit gebruikt de 5687 buis. Deze heeft een relatief lage versterking van 17x en een inwendige weerstand van 2500 Ohm. Een bijzonder kenmerk is tevens de gloeistroom van ruim 900 mA, die voor een buis van deze afmeting opmerkelijk hoog is. De prijs van de buis is vriendelijk en de 5687 is in eerdere projecten al vaker met succes toegepast.
Er is gekozen voor een standaard weerstandsversterker met aan de anode een stroombron in plaats van een anodeweerstand. Hierdoor worden de versterking, de vervorming en de Power Supply Rejection Ratio (PSRR) geoptimaliseerd.
Als koppelcondensator wordt een WIMA FKP-1 toegepast, die hier beter klinkt dan speciale (en vaak dure) audiocondensatoren. De WIMA's zijn heel betaalbaar en geven in deze versterker een opmerkelijk goed resultaat.

De fasedraaier

De balans uitgangsconfiguratie moet aangestuurd worden door een signaal in fase en een gelijk signaal in tegenfase. De fasedraaier neemt deze taak op zich en er is gekozen voor de zogenaamde Long-Tail schakeling. Deze schakeling wordt vaak toegepast, is eenvoudig en de werking ervan is optimaal. De Long-Tail kan de grote stuursignalen leveren die de 6336A nodig heeft. De schakeling vervormt dan verwaarloosbaar. Om de eigenschappen verder te verbeteren is er gebruik gemaakt van een stroombron bij de gemeenschappelijke kathodes. Deze is opgebouwd rond een transistor met een LED als referentie. Een stroombron geeft een lagere vervorming dan een gemeenschappelijke kathodeweerstand. Tevens biedt het de mogelijkheid om de vervorming op een minimale waarde af te regelen. Om de symmetrie van de uitgangsspanningen te optimaliseren is een instelpotentiometer P1 opgenomen in het anodecircuit. De AC signalen kunnen nu eenvoudig op gelijke grootte worden afgeregeld. De buis van de fasedraaier is de 6SN7GT, een veel gebruikte buis op deze plaats. Met de combinatie van de 5687 en de 6SN7GT zijn we in staat om de benodigde totale versterking van 20 dB te creëren.
Tijdens de bouw van het prototype bleek toch dat deze Long-Tail fasedraaier niet optimaal is voor aansturing van de 6336A buis. De eindbuizen vormen namelijk een behoorlijke belasting voor de relatief hoogohmige uitgang van de fasedraaier. Een eenvoudige oplossing voor dit probleem is de toepassing van een extra kathodevolger.



figuur 1: schema van de 6336A versterker, één kanaal getekend

Deze heeft een zeer lage uitgangsimpedantie en de aansturing van de eindbuis wordt dan perfect. Het -3dB frequentiebereik is dan conform de maximale waarde van de uitgangstrafo en bedraagt 130 kHz. Zonder de extra kathodevolger komt het -3dB frequentiebereik al bij de zeer acceptabele frequentie van 70 kHz te liggen. Let wel: dit grote frequentiebereik wordt in beide gevallen gehaald zonder gebruik van enige overall tegenkoppeling. Bij de uiteindelijk gebouwde versterker was eenvoud belangrijk en om die reden is daar de kathodevolger niet toegepast. Zie het hoofdschema waar de extra kathodevolger als verwijderbaar tussenblok is getekend. Men zou zich nog kunnen afvragen waarom de anodeweerstanden van de 6SN7 buis niet kleiner zijn gekozen. Dan was immers de extra kathodevolger niet nodig geweest? Deze anodeweerstanden zijn echter zo groot gekozen om een lage vervorming te bereiken bij grote uitgangsspanningen. Voor het volledig uitsturen van de 6336A is namelijk een fiks signaal van ruim 80 V_{eff} nodig en die spanning moet onvervormd zijn.

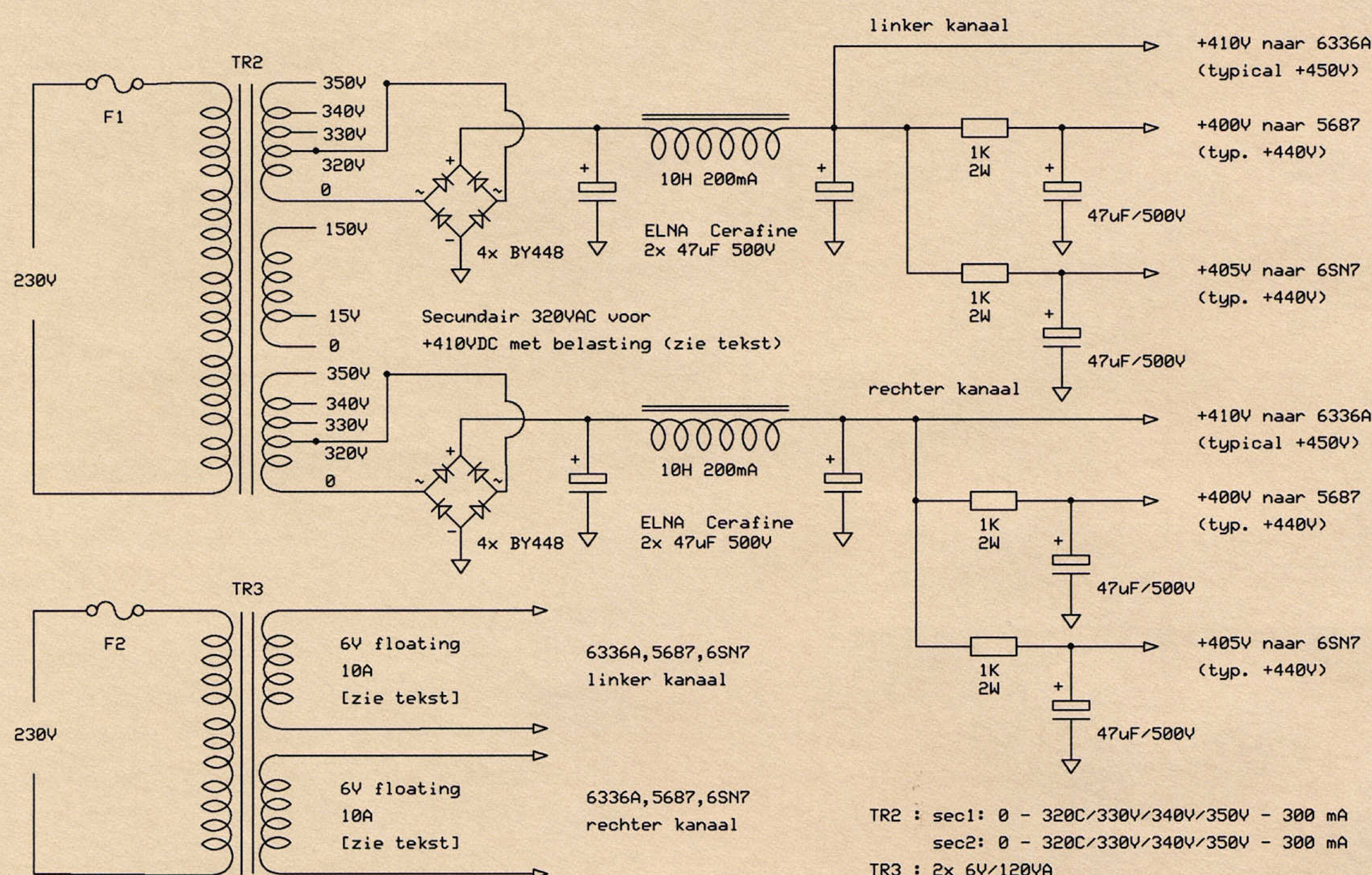
Het uitgangcircuit

Het uitgangscircuit heeft volledig in klasse A ingestelde eindbuizen. De negatieve roostervoorspanning moet hiervoor ongeveer 114 V bedragen bij een hoogspanning van ruim 335 V tussen de anode en de kathode. De totale hoogspanning bedraagt dan 335 + 114 = 449 V. De twee triodesystemen van de 6336A hebben een maximale disspatie van 30 W per systeem. Met de hier gekozen instelling wordt een dissipatie van ruim 25 W per triode systeem bereikt.

De eindbuizen worden op hun werkpunt ingesteld met kathodeweerstanden in plaats van vast negatief. Met vast negatief krijgt de buis niet de stabiliteit die we voor ogen hebben. Het enige nadeel van kathodeweerstanden is de grote warmtedissipatie in deze weerstanden, echter dit weegt niet op tegen instabiliteit met vast negatief. Over de weerstanden staat ruim 114 volt bij een ruststroom van 70 à 80 mA, dus ongeveer 8 tot 9 W warmtedissipatie per totale kathodeweerstand. Foto 2 laat het gebruik van 'bullet proof' 25 W weerstanden zien. De betrouwbaarheid en stabiliteit zijn nu gegarandeerd. De weerstanden zijn op een L-profiel bevestigd. Dit profiel is op zijn beurt aan het aluminium chassis vastgeschroefd. In de praktijk is gebleken dat een effectieve voedingsspanning van +410 V, in plaats van de oorspronkelijke geplande +450 V, geen nadelig effect op de versterker heeft. Het uitgangsvermogen neemt wat af, maar het gedissipeerde vermogen per 6336A sectie ligt nu bij 21 W, waardoor de levensduur van de eindbuizen aanmerkelijk langer wordt.

De 6336A wordt echt heet, dus ruime ventilatie rondom de buis is nodig. Ook extra gaten in het chassis rondom de voet zijn noodzakelijk. Deze maken het mogelijk dat de lucht zich langs de buis kan verplaatsen. Een enkele 6336A buis dissipeert inclusief de warmte van de gloeidraden in totaal ruim 70 tot 80 W! Dus een goede warmtehuishouding is een vereiste.

Omdat selectie van 6336A eindbuizen met exact gelijke triode helften niet doenlijk is, is er een regelbare weerstand opgenomen in één van de kathodes. De afregeling op gelijkheid van de twee triode helften is nu eenvoudig, zeker als een analoge meter met middenstand wordt gebruikt. De 100uA-0-100uA meter van dit ontwerp was oorspronkelijk bedoeld voor de fijnafstemming van FM tuners. Hier geeft de meter in nulstand aan dat de beide triode helften dezelfde ruststroom trekken. Deze afregeling is essentieel omdat de hier toegepaste ringkern uitgangstransformator gevoelig is voor onbalans in de ruststromen door de primaire wikkelhelften.



figuur 2: schema van de voeding van de 6336A versterker

De ontkoppelcondensatoren tussen de twee kathodes zijn niet verkeerd getekend. Deze zwevende manier van ontkoppelen geeft optimale vervormingcijfers, zie hiervoor de tabel.

Keuze uitgangstransformator

Deze versterker heeft een uitgangstransformator nodig. De impedantie van de buizen moet omlaag getransformeerd worden om een luidspreker aan te sturen. Gekozen is voor de hoogwaardige ringkern uitgangstransformator VDV8020 die door Amplimo geleverd wordt. Deze is in staat om een -3dB frequentiebereik van 2 Hz tot 130 kHz te halen zonder enige tegenkoppeling. Cosmetisch ziet hij er ook goed uit. De VDV8020 kan 20 W verwerken bij een primaire impedantie van 8 kOhm, een waarde die normaal voorkomt bij een EL84 push-pull ontwerp. In deze versterker zijn de demping en vervorming optimaal met deze 8 kOhm primaire impedantie. Met een lagere impedantie zal het uitgangsvermogen toenemen, maar ook de vervorming. Tegenkoppeling zal dan soelaas moeten geven, en die wilden we juist niet gaan toepassen.

De voeding

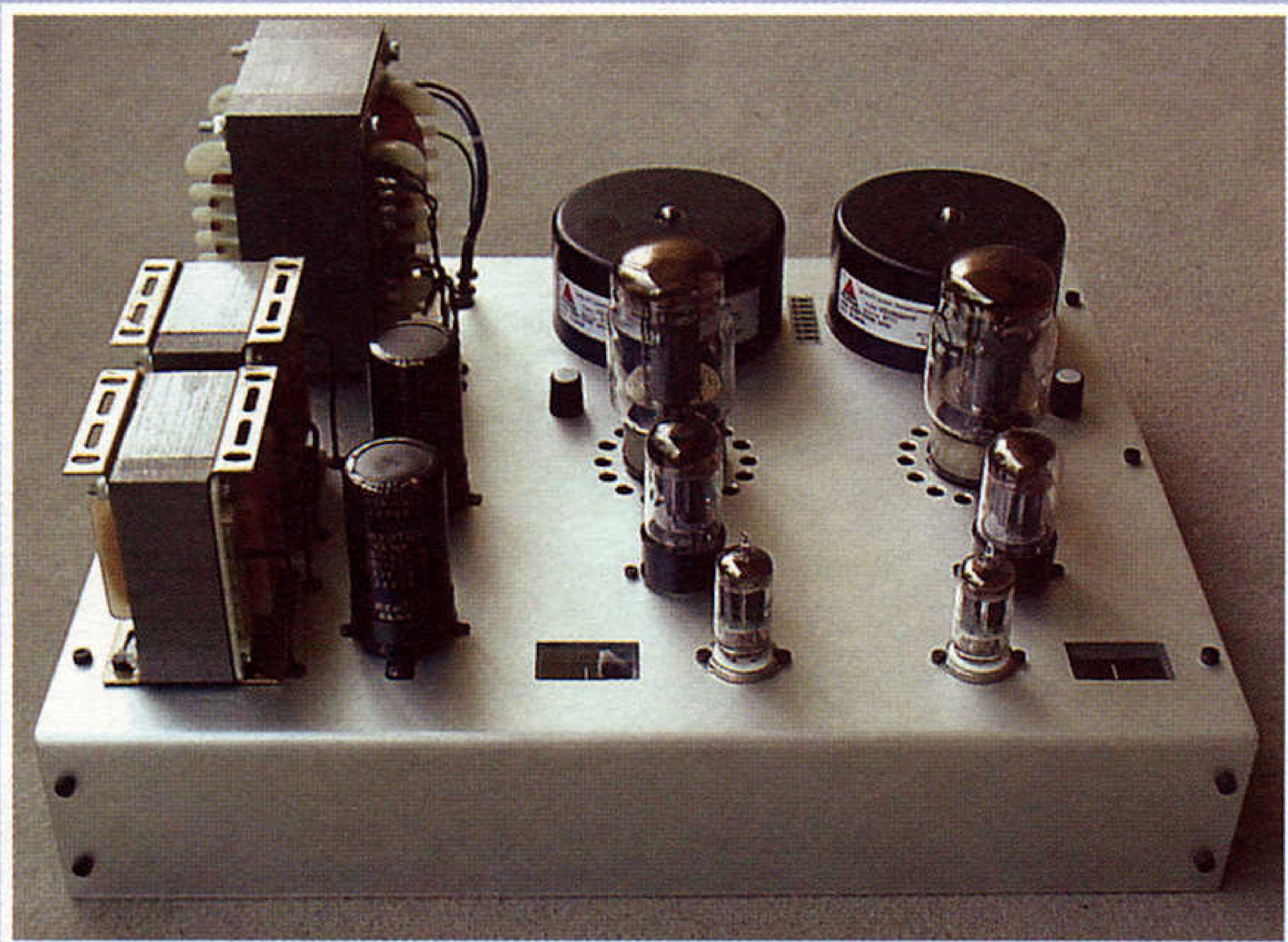
De custom-made voedingstrafo heeft secundair verschillende aftakkingen. Deze maken het mogelijk om de voedingsspanning enigszins te wijzigen. Voor de gelijkrichting worden BY448 diodes toegepast die 1,5 kV kunnen verdragen. De afvlakking gebruikt vervolgens een C-L-C combinatie. De stuur- en fasetrappen hebben hun eigen R-C netwerk voor een nog betere brom onderdrukking. Let op dat een 6336A een gloeistroom nodig heeft van 5 A terwijl een 5687 ruim 0,9 A trekt. Gekozen is voor een zwevende aansluiting van de gloeispanning (dus geen koppeling naar massa). Hierdoor wordt de maximale spanning tussen de kathode en de gloeidraad van de 5687 buis niet overschreden. Indien nog enige brom aanwezig is die gerelateerd kan worden aan de gloeidraden of gloeispanning, dan moet de gloeispanning met een condensator van 1 uF naar massa verbonden worden. Een

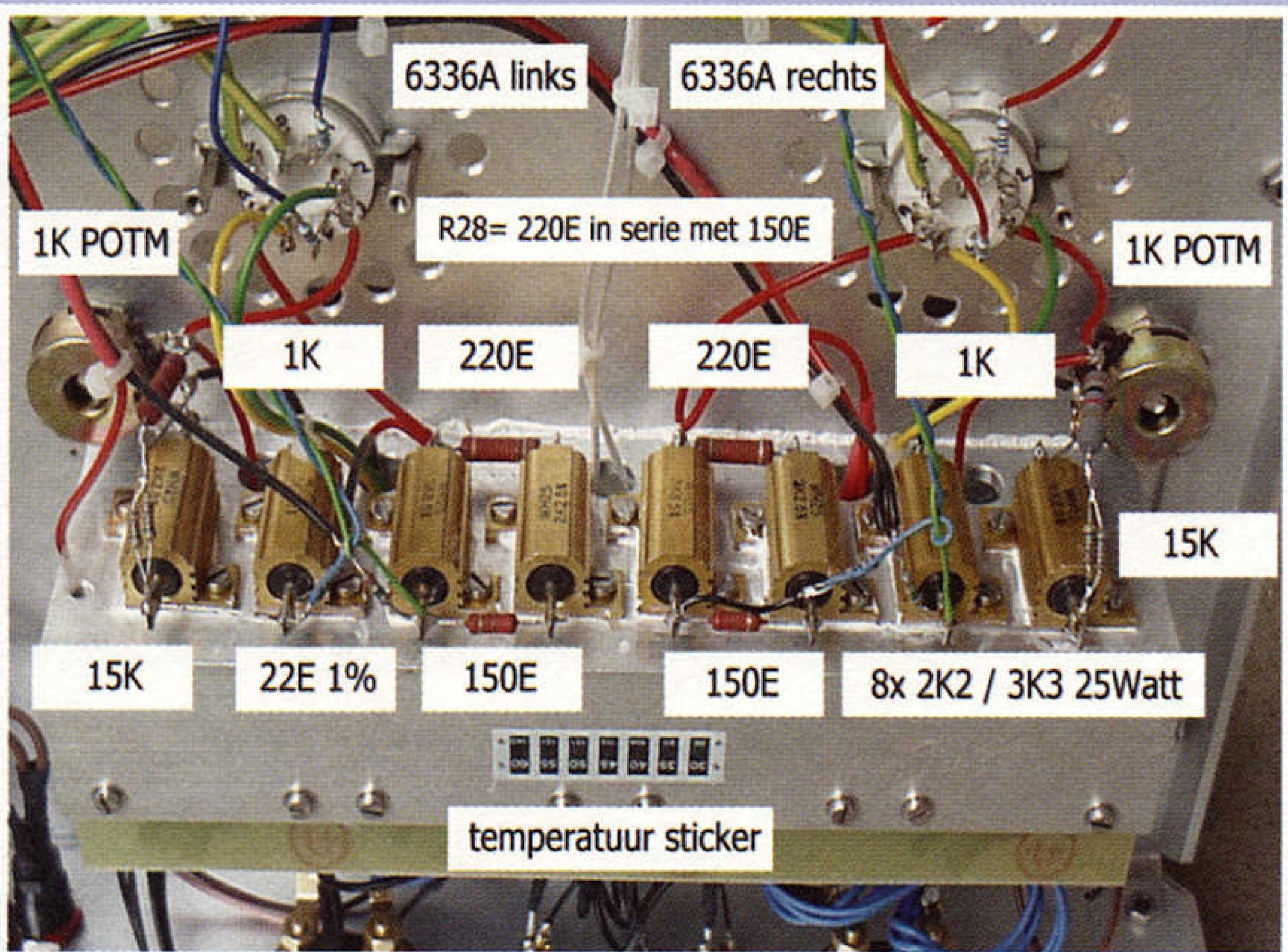
output power	RCA 6336A		Cetron 6336A		Raytheon 6336A		Tung Sol 6336A	
	vervorming in %		vervorming in %		vervorming in %		vervorming in %	
	ontkoppel condensatoren zoals in schema	ontkoppel condensatoren met knooppunt naar massa	ontkoppel condensatoren zoals in schema	ontkoppel condensatoren met knooppunt naar massa	ontkoppel condensatoren zoals in schema	ontkoppel condensatoren met knooppunt naar massa	ontkoppel condensatoren zoals in schema	ontkoppel condensatoren met knooppunt naar massa
1 watt	0.12	0.07	0.12	0.10	0.07	0.27	0.07	0.12
10 watt	0.65	0.88	0.90	1.45	0.60	1.60	0.40	0.75

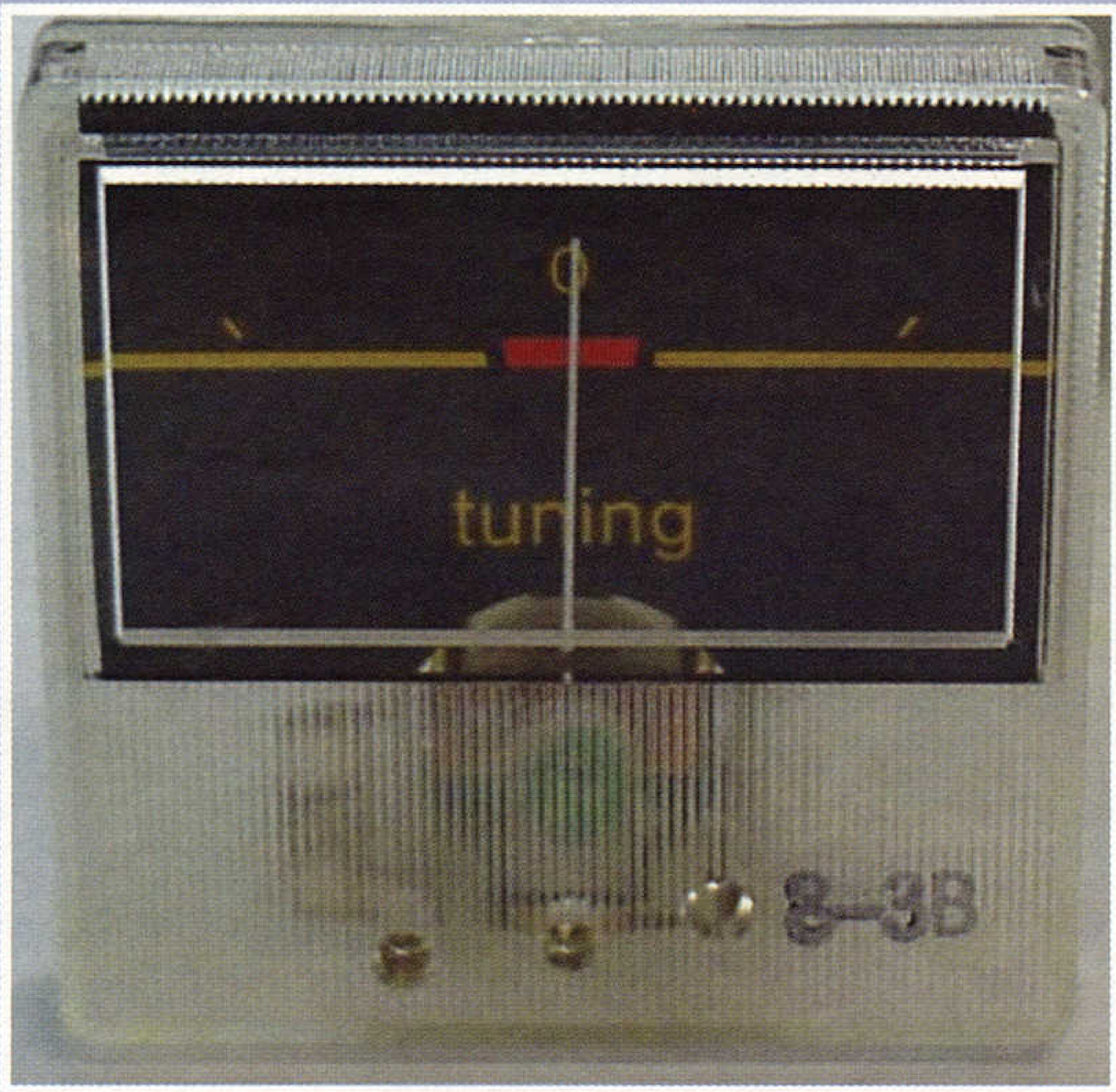
foto-1: overzichtsfoto

foto-2: detail van de kathode weerstanden

foto-3: de tuning meter voor controle van gelijke ruststromen







andere oplossing is de gloeispanning door middel van een weerstandsdeler aan +130V te relateren.
Enige oplettendheid is nodig bij het inschakelen van de hoogspanning. Zolang de buizen nog niet op temperatuur zijn kan de hoogspanning aanmerkelijk hoger zijn dan de nominale waarde. De voedingscondensatoren moeten hierop wel berekend zijn. Daarom moeten de buizen en in het bijzonder de 6336A 'voorgegloeid' worden en pas na enige tijd de hoogspanning worden aangeschakeld. Het is ook verstandig om in de voedingslijn van de hoogspanning naar de middenaftakking van de uitgangstransformator een zekering op te nemen. Het kan gebeuren dat in één van de systemen van de 6336A interne kortsluiting optreedt. De zekering voorkomt dan dat alles verbrandt.

Afregeling

De versterker heeft 3 afregelpunten. Met potentiometer P1 wordt de fasedraaier op symmetrie afgeregeld. Aan de versterkeringang wordt een 1 kHz testsignaal aangeboden en met een voltmeter of oscilloscoop worden de wisselspanningen op de anodes gelijk afgeregeld. Met P2 worden de kathodes van de 6SN7 ongeveer op +8 V geplaatst. Deze spanning kan iets stijgen bij een hoogspanning van 450V, zie hiervoor het schema. Indien er een vervormingsmeter aanwezig is, kan de fasedraaier met P2 in samenhang met P1 op minimale vervorming worden afgeregeld.
De gelijkheid van de 6336A helften wordt ingesteld met potmeter P3. De weerstanden R20 en R21 worden voor de meting van de gelijke ruststromen gebruikt. indien

Specificaties	
Frequentiebereik -3dB	2 ... 130 kHz
Vermogen in 5 Ohm bij 1% vervorming	17 Watt
Versterking	20 dB
Opmerking: meetgegevens bij gebruik met kathodevolger en +450V voedingsspanning	
Frequentiebereik -3dB	2 ... 70 kHz
Vermogen in 5 Ohm bij 1% vervorming	12 Watt
Versterking	20 dB
Opmerking: meetgegevens bij gebruik zonder kathodevolger en +410V voedingsspanning	
Dempingsfactor	18
Vervorming bij 1 W / 1 kHz	0.07%
Opmerking: alle meetgegevens bij gebruik van een Tung Sol 6336A	

over beide weerstanden dezelfde gelijkspanning staat zal door beide triodesecties dezelfde ruststroom lopen; de meter staat dan in het midden. Deze afregeling is stabiel over een lange tijd. Zoals eerder is aangegeven, is de indicatiemeter met middenstand een 'must' bij toepassing van de ringkern uitgangstrafo.

Nawoord

Alhoewel de 6336A niet voor audio ontwikkeld is, presteert hij bij geluidsweergave fantastisch. De versterker meet en speelt overtuigend goed. Ondanks de afwezigheid van enige overall tegenkoppeling is de vervorming laag en de demping hoog. In de praktijk blijkt dan ook dat de versterker een goede controle in het laag heeft.

Het geringe rendement van de versterker kan men als een nadeel zien. Je produceert heel veel warmte en weinig audiovermogen. De kwaliteit van wat je hoort weegt hier echter ruimschoots tegen op.
De versterker is gedemonstreerd bij de Audio Vereniging Midden Nederland (maart 2006) en op de Dutch DIY Audio Dag (april 2005), beiden met groot succes. Tijdens deze demo's is ook gebleken dat de versterker, ondanks het relatieve lage vermogen, goed in staat is om een 4 Ohm Dynaudio luidspreker met het lage rendement van 84 dB/W/m tot maximale prestaties te brengen in een grote ruimte waar ruim 40 luisteraars aanwezig waren. Opmerkelijk is het dynamische bereik, de ruimtelijkheid, de voelbare betrokkenheid en de eigenschap om de luidsprekers te laten vervagen.
De betrouwbaarheid van de versterker is hoog mits men zorgt voor een ruime afvoer van warmte bij zowel de eindbuizen als bij de bijbehorende kathodeweerstanden.

opmerking:

1) Voor meer informatie: whaan@lumc.n

Wim de Haan is werkzaam als medisch elektronicus in een academisch ziekenhuis. De interesse in audio is gewekt door zijn grote voorliefde voor muziek met bijzondere voorkeur voor piano. Hij is een groot liefhebber van live muziek en heeft niet de illusie dat een pianist als bijvoorbeeld Keith Jarrett of Grigory Sokolov thuis zo 'gereproduceerd' kan worden als in concert. Hij is zich ervan bewust dat je niet op elk moment je favoriet live kunt bewonderen. Daarom is een opname onmisbaar, ook omdat veel grootheden niet meer in ons midden zijn. De audioprojecten van Wim betreffen nabouw, modificaties en nieuwe producten zoals een hybride versterker en actieve luidspreker. Eerdere publiceerde hij in AudioXpress (USA) en Electronics Word + Wireless World (GB). Wim is direct betrokken geweest bij het tot stand komen van klassieke piano CD die door het blad Luister als zeer goed is beoordeeld.

Componentenlijst 6336A versterker

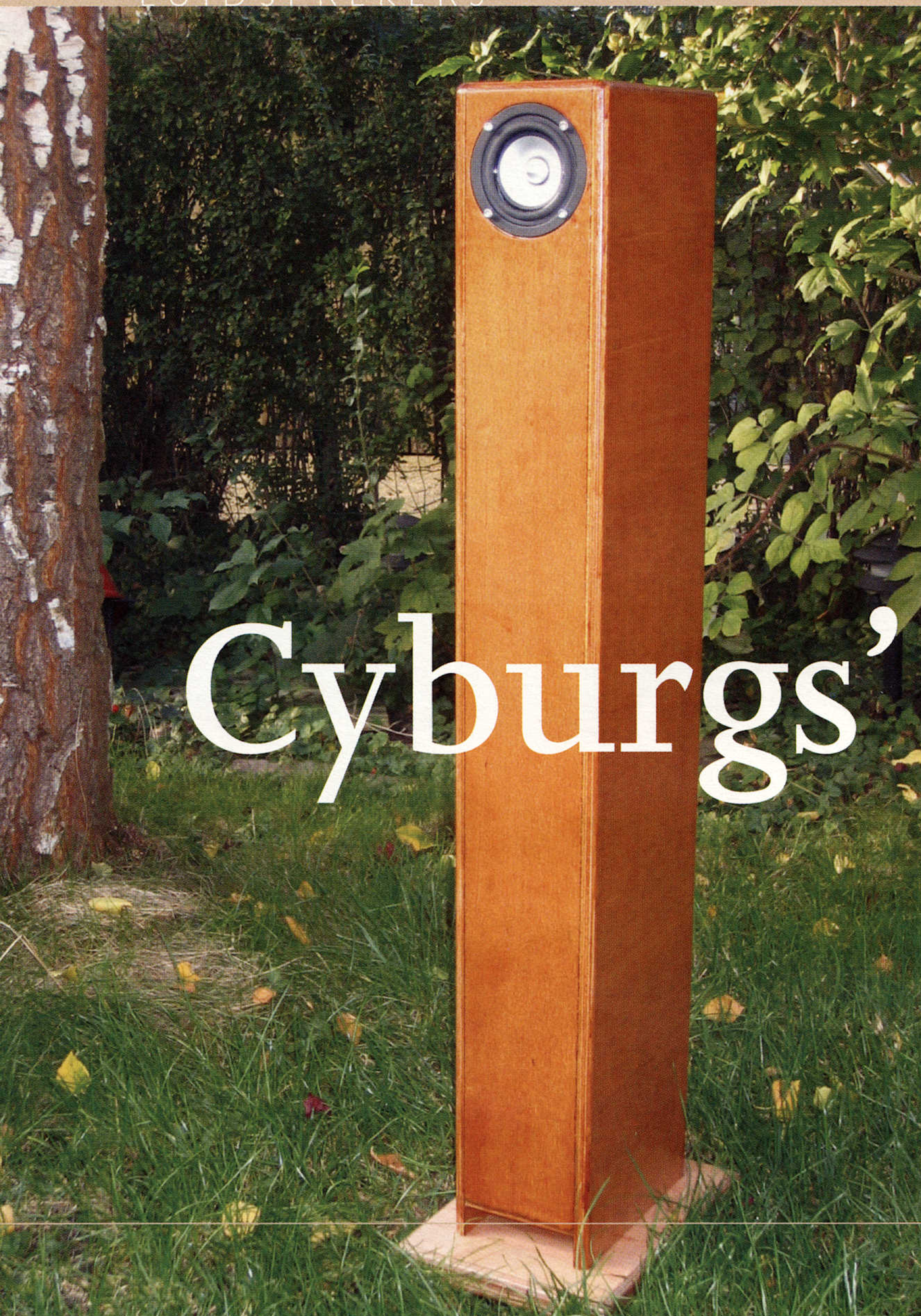
R1	470K
R2	1K
R3	1M
R4	680R
R5	15K / 3 watt
R6	680R
R7	120K / 2 watt
R8	120K / 2 watt
R9	680K
R10	180K / 3 watt
R11	680R
R12	1K**
R13	68K / 2 watt**
R14	390K
R15	1K
R16	1K**
R17	68K / 2 watt**
R18	390K
R19	1K
R20	22R / 1%
R21	22R / 1%
R22	3K3 / 25 Watt *
R23	2K2 / 25 Watt *
R24	15K
R25	1K / 3 watt
R26	3K3 / 25 watt *
R27	2K2 / 25 watt *
R28	370 ohm [220R / 2 watt in serie met 150R / 2 watt]

Alle weerstanden 600 mW, of anders aangegeven.
* weerstand voorzien van koelprofiel of chassis montage (conform artikel).
** Alleen te gebruiken indien gebruik gemaakt wordt van de optionele kathodevolger

P1	22K / 1 watt
P2	500R / 0.5 watt
P3	1K / 5 watt
C1	100 nF / 200V
C2	47 nF / 1200V
C3	47 nF / 1200V
C4	100 nF / 400V
C5	470 uF / 16V
C6	100 nF / 400V
C7	100 nF / 400V
C8	220 uF / 200V
C9	220 uF / 200V
T1	BC107B of equivalent
D1	LED groen 5mm
D2	LED groen 5mm
V1	5687
V2	6SN7
V3	6SN7**
V4	6336A

** Alleen te gebruiken indien gebruik gemaakt wordt van de optionele kathodevolger.

M1	100uA-0-100uA
TR1	Uitgangstransformator Amplimo VDV8020PP [8K / 20W]



Cyburgs' Needle

Een uitgekiend ontwerp voor een lage prijs

DOOR HENKJAN OLTHUIS

Alle waar is naar z'n geld, ook voor luidsprekers een waarheid als een koe? Voor het hier voorgestelde ontwerp maken we graag een uitzondering op deze regel, hier wordt kwaliteit geboden voor een lage prijs door het gebruik van betaalbare drivers in een uitgekiend ontwerp.

Aan goedkope luidsprekers geen gebrek tegenwoordig, voor nog geen 100-euro koop je een surround set met wel zes luidsprekers, in de regel voorzien van een aktieve subwoofer. Een dergelijke set luidsprekers klinkt dan meestal ook zoals je zou verwachten voor dat bedrag, niet erg overtuigend dus. Ook meettechnisch is het in de meeste gevallen niet beter, de term frequentie curve krijgt zo wel een heel andere betekenis. Is het dan niet mogelijk om voor een lage prijs een goede luidspreker te maken? Zeker wel, het hier gepresenteerde ontwerp slaagt erin met een minimum aan onderdelen en kosten een overtuigende weergave neer te zetten waar bovengenoemde luidspreker sets een stevig puntje aan kunnen zuigen.

Randvoorwaarden

Voor we naar het ontwerp toegaan, is het belangrijk eerst eens goed op een rij te zetten aan welke eisen de luidspreker zal moeten voldoen, dat zijn immers de randvoorwaarden waarop het ontwerp gebaseerd is. De kostprijs voor de diverse materialen moet bij voorkeur onder de 50-euro blijven, echter we verlangen wel een overtuigende weergave. Daarnaast willen we uiteraard een ontwerp wat eenvoudig te bouwen moet zijn, dus geen complexe constructies of lastige zaagsnedes. Met deze randvoorwaarden zullen we dan de keuzes moeten maken voor de drie-eenheid waaruit een luidspreker bestaat, namelijk de driver, de behuizing en het filter.

De driver

Om te beginnen is de keuze voor de driver uiteraard een belangrijke. Het gestelde budget legt ons hier al snel beperkingen op. De eenvoudigste manier om het budget binnen de perken te houden is door het aantal drivers zo klein mogelijk te houden, dus een drie- of zelfs vierweg systeem is geen optie. We voeren dit in de meest extreme vorm door en kiezen ervoor om slechts één driver te gebruiken, maar wel één met een heel breedbandig karakter. Deze driver, algemeen bekend als een

'breedbander', moet dus het gehele audiospectrum in z'n eentje weergeven. Gelukkig is er tegenwoordig een redelijke keuze in goede, betaalbare breedbanders.

Omdat een goede hoge tonen weergave een vereiste is zal het formaat van de driver beperkt moeten blijven. Belangrijk daarbij is dat de frequentie curve niet al vroeg begint af te vallen, of de driver begint te bundelen,Voor een acceptabele laagweergave is echter wel een redelijk conus oppervlak nodig, in verband met de benodigde luchtverplaatsing. Een 3" (8-cm) driver ligt dan voor de hand als redelijk compromis. In dit geval is gekozen voor de Tangband W3-871S die met een adviesprijs van 23-euro prima binnen het budget past. Deze driver heeft een uitstekende reputatie, ziet er goed uit en is ook nog eens magnetisch afgeschermd. Uiteraard zijn er nog wel andere breedbanders in deze categorie zoals we verderop uit de doeken zullen doen, maar de klankeigenschappen van de W3-871S bieden volgens ons de optimale prijs/kwaliteits verhouding.

De behuizing

Nu we de keuze voor de driver gemaakt hebben is het zaak om een behuizing te ontwerpen die het potentieel van deze driver optimaal benut. De meeste aandacht dient wat dat betreft besteed te worden aan de laagweergave. Als we naar de driver parameters kijken zien we dat er een bijzondere behuizing nodig zal zijn om aan deze kleine driver een goede laagweergave te ontlokken. Een gewone gesloten kast is hier duidelijk niet geschikt, door de hoge fs van de driver missen we toch te veel aan laagweergave. Een bassreflex kast geeft al duidelijk meer laag maar zal door de hoge Q al gauw 'boemerig' klinken en da's uiteraard niet de bedoeling.
Er zijn echter meer wegen die naar Rome leiden, alhoewel deze niet vaak worden bewandeld, in dit geval doelen we dan op de hoorn en de transmissielijn. Beide hebben het potentieel om de W3-871S in het laag de ondersteuning te bieden die we zoeken. Omdat een hoorn al snel complex van opbouw wordt en daardoor niet past binnen onze randvoorwaarden gaan we verder met de transmissielijn, of kortweg de TL. Transmissielijn kasten zijn er in diverse vormen, met elk hun eigen eigenschappen en hebbelijkheden. Voor dit project kiezen we voor een zogenaamde mass loaded tapered quarter wave tube (ML-TQWT) waarbij er aan het einde van de transmissie lijn een poort zit.

Deze uitvoering heeft een, in vergelijking met een gewone TL van gelijke lengte, lagere afstemmingsfrequentie tot gevolg, terwijl ook het aandeel van de middentonen dat uit de lijn komt lager is. Dit laatste is zeker van belang aangezien deze middentonen bij bepaalde frequenties in tegenfase de poort verlaten en zodoende het door de driver afgestraalde geluid bij die frequenties kunnen verstoren, in vaktermen heet dit het zogenaamde TL-gat. Het hier gepresenteerde ontwerp van Berndt Burghard [1] is een enkel gevouwen TL met een lijn lengte van 1.85-m, met als resultaat dat we beneden de 100Hz een zwak aflopende curve te zien krijgen, pas beneden de 50Hz loopt de curve steiler af.

Het filter

Gemakshalve zouden we nu kunnen stellen dat we met de keuze voor de driver en het ontwerp van de kast klaar zouden zijn, de gebruikte driver is immers een breedbander. Echter de meeste breedbanders, en de W3-871S is hier geen uitzondering, hebben een oplopende curve in het middengebied. Dit valt gelukkig eenvoudig te corrigeren met een sperkring (zie kader over de werking hiervan) die in serie met de driver wordt gezet om frequentiecurve vlak te maken en daarmee de tonale balans van de luidspreker te optimaliseren.
De gebruikte filtercomponenten zijn wederom gekozen met de randvoorwaarden in ons achterhoofd. Zo gebruiken we voor de luchtspoel een type met 1.0-mm ko-

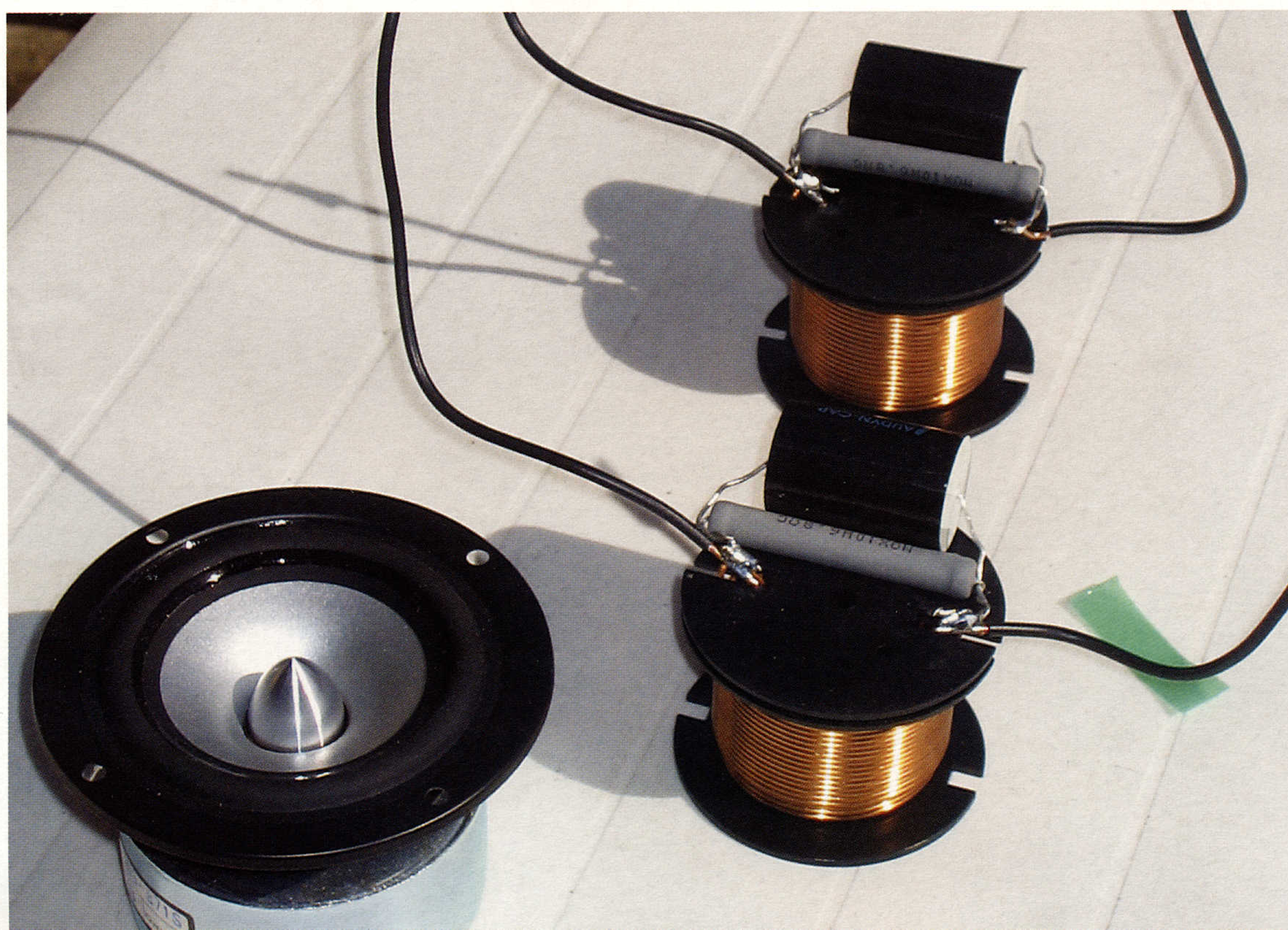


Foto 1. De drivers en filter onderdelen van de Needle

Sperkring

Een sperkring, ook wel RCL kring genoemd, bestaat uit de parallelschakeling van een weerstand, een spoel, en een condensator. Deze drie componenten worden in serie met de driver gezet om in een bepaald frequentiegebied een bepaalde verzwakking te bereiken.

De werking van een sperkring laat zich eenvoudig uitleggen: de mate van verzwakking wordt bepaald door de waarde van de weerstand. De frequentie waarboven geen verzwakking meer gewenst is wordt bepaald door de condensator die daarboven als een hoogdoorlaatfilter fungeert. De spoel, in z'n rol als laagdoorlaatfilter, bepaalt de frequentie waaronder geen verzwakking meer nodig is.

Naam:	Cyburgs' Needle
Ontwerp:	ir. Henkjan Olthuis
Principe:	1-weg transmissielijn-systeem
Driver:	Tangband W3-871S
Scheidingsfilter:	RCL-kring
Afmetingen:	912x124x196-mm (hxbxd)
Netto inhoud:	14-liter
Belastbaarheid:	30 Watt
Prijs bouwpakket:	circa 35,- (driver + scheidingsfilter)
Prijs houtpakket:	circa 10,-

perdraad en een MKP condensator (bv de ClarityCap APW). Deze componenten bieden een uitstekende prijs/kwaliteitsverhouding. Wil men echter het beste uit de luidspreker halen, dan is het te overwegen om een nog mooiere condensator en een foliespoel te gebruiken, geschikte alternatieven zijn dan de Clarity Cap SA condensator en een Jantzen foliespoel. Het uiteindelijke filter wordt dan wel duurder dan alle andere onderdelen samen, dus wellicht is het verstandig om in dit geval te beginnen met het hier voorgestelde filter, eventueel kan men later altijd nog investeren in duurdere componenten.

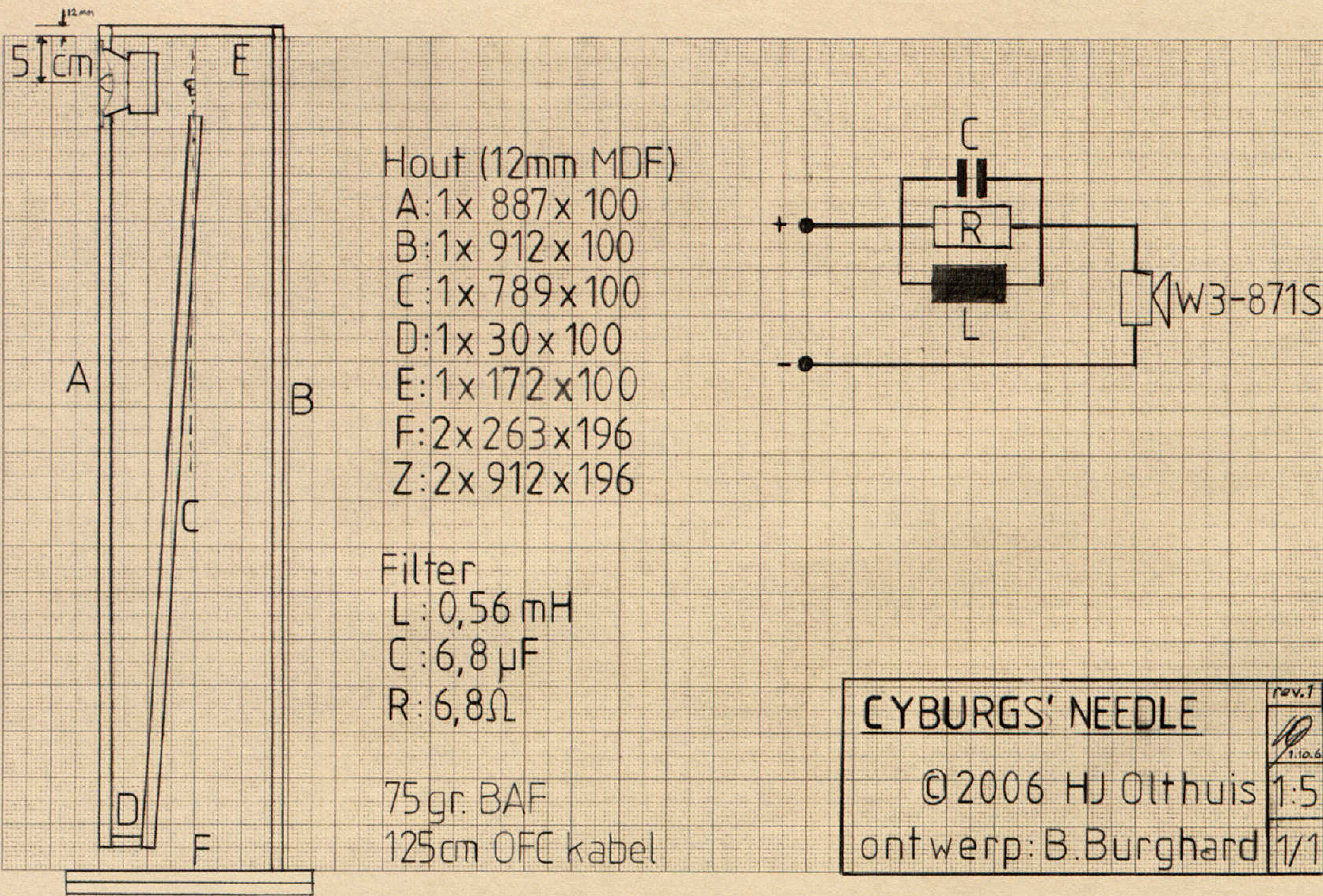
De materialen

De opbouw van de kast van de luidspreker is relatief eenvoudig zoals blijkt uit de bouwtekening (voor een uitgebreide bouwomschrijving, zie [2]). Voor het kastmateriaal zijn er een aantal alternatieven. Zo kan er gekozen worden voor multiplex, MDF of spaanplaat. Wat akoestische eigenschappen betreft ontlopen de genoemde materialen elkaar niet veel, de prijs maar vooral het type afwerking bepalen uiteindelijk de keuze. Dient de kast netjes in de lak gezet te worden, dan is MDF een goede keuze door het gladde oppervlak, eventueel kunnen de kastpanelen dan zelfs onder verstek worden gezaagd zodat er geen naden meer zichtbaar zijn. Multiplex is erg mooi met een eenvoudige blanke lak afwerking, hier is het juist de bedoeling dat de structuur van het hout en de kopse kanten zichtbaar blijven, echter multiplex is duurder dan MDF of spaanplaat. De goedkoopste oplossing is het gebruik van spaanplaat, wat prima voldoet als de kast afgewerkt gaat worden met fineer, laminaat of plakfolie, de grove structuur van het spaanplaat is dan niet meer zichtbaar.

Als dempingsmateriaal gebruiken we BAF (bonded acetate fibres, bijvoorbeeld Sonofil). Als alternatief zou ook langharige wol gebruikt kunnen worden, maar de resultaten zoals beschreven in dit artikel zijn allemaal behaald met BAF. Het dempingsmateriaal wordt in het smalle deel van de kast aangebracht (tussen "A" en "C" op de bouwtekening), strak in de punt, wat losser bovenin. Er komt geen dempingsmateriaal in de rest van de kast omdat dan de werking van de TL in het gedrang komt.

Alternatieve drivers

In de Needle behuizing kan niet alleen de TangBand W3-871S gebruikt worden, ook een aantal andere 3" breedbanders voldoen hier prima. De hier gepresenteerde alternatieven zijn allen beproefd, en passen zon-



Figuur 1. Bouwtekening en filterschema Needle

der aanpassingen in de kast, dit zelfs zonder schroefgaten aan te passen.

Visaton FRS8

Dit is de goedkoopste manier om een Needle te bouwen. Deze driver kost slechts 11 euro en er is geen filter nodig waardoor de kosten nog verder worden gedrukt. Deze luidspreker geldt al jaren als één van de best bewaarde geheimen in breedbanderland, want de klank die hij voortbrengt verraadt niets van de lage prijs. In vergelijking met de TangBand W3-871S klinkt de FRS8 wat minder verfijnd, minder gedetailleerd, maar nog altijd verrassend goed. In het laag presteert de FRS vrijwel gelijk aan de W3-871S. Een nadeel is wel dat de FRS8 niet magnetisch is afgeschermd.

Tangband W3-315SC

Deze driver is verwant aan de W3-871S, maar deze driver heeft een aluminium conus en een gegoten korf. De weergave van deze driver klinkt een stuk sprankelender maar daardoor wel iets minder gebalanceerd en natuurlijk dan de W3-871S. Met een kostprijs van 24 euro is deze driver net een euro duurder dan de W3-871S. Ook voor deze TangBand driver is een filter nodig, gelijk kwa opbouw maar met afwijkende waardes. Gezien de gelijkenissen tussen de drivers verbaast het niet dat de laagweergave vrijwel identiek is. De W3-315SC is net zoals de W3-817S magnetisch afgeschermd.

Omnes Audio BB3.01

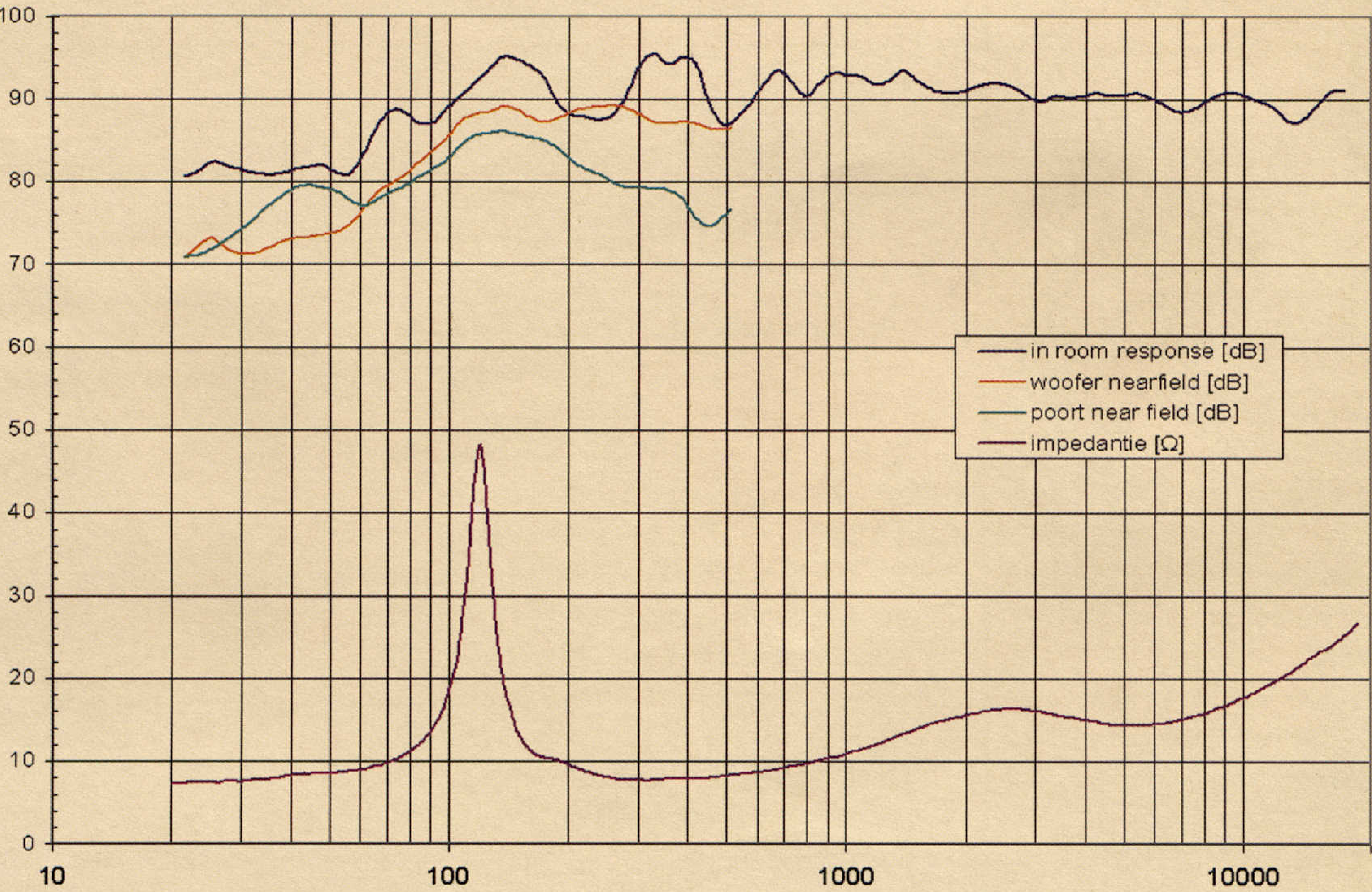
De luxe uitvoering van de W3-871S. Deze driver is naar specificatie van Blue Planet Acoustics gemaakt bij TangBand. Deze breedbander heeft in vergelijking met de W3-871S een betere hoge tonen weergave, een hoger rendement, een gegoten korf, een lagere vervorming, en een neodymium magneetsysteem. Daarmee wordt nog meer gewonnen in kwaliteit ten op zichte van de W3-871S. Bijvoorbeeld de hoogweergave is dusdanig goed dat een tweeter absoluut niet gemist wordt. Ondanks de enigzins afwijkende parameters doet de BB3.01 het erg goed in de Needle. De BB3.01 kost 32 euro en is daarmee 9 euro duurder dan de W3-871S.

Luisterervaringen

Na het goed opstellen van de luidsprekers en het opzetten van een goede CD is het eerste dat opvalt hoe mooi de plaatsing in de weergave is met een breedbander. Doordat de weergave van alle frequenties door één en de zelfde driver worden weergegeven, zijn er geen looptijdverschillen of fasedraaingen veroorzaakt door verschillende drivers en hun filters. Alle stemmen en instrumenten worden perfect op hun plaats weergegeven, met een ruimtelijkheid die door een meerweg systeem maar moeilijk te benaderen is.
Het hoog wordt mooi gedetailleerd weergegeven en is daarnaast zeer vriendelijk van aard, zodat luistermoeheid niet gauw zal optreden met een stel Needles. De sprankelijkheid van een extra tweeter is misschien afwezig, maar wordt na wat langer luisteren echt niet gemist.
De laagweergave is waar deze luidspreker echt verrast, het is moeilijk te geloven dat een dergelijk goed doortekende laagweergave door een enkele 8-cm breedbander wordt weergegeven. Op de allerlaagste frequenties na komt het laag er met gemak uitrollen, niet overdreven, niet net iets te dun, feitelijk precies goed. We kunnen dan ook stellen dat de Needle een uitgekiend en zeer geslaagd ontwerp is dat een voor z'n formaat indrukwekkende weergave biedt tegen een lage prijs

Referenties:

1. http://www.hifi-forum.de/viewthread-104-2341.html
2. http://www.juoiga.nl



Figuur 3.
Frequentie- en impedantie curve

elektuur audio SHOP

Bestellen?

Bezoek onze online shop op www.elektuur.nl

Uitgebreide informatie over al onze producten

The Audio Collection I

Deze CD-ROM bevat een samenstelling van audioschakelingen uit de jaargangen 1995 t/m 1999 van het tijdschrift Elektuur. Met onder andere artikelen over meet- en testapparatuur, versterkers, digitale audio en luidsprekertechniek. In totaal bevat deze CD-ROM meer dan 75 artikelen.



ISBN 90-5381-121-4
€ 18,50

The Audio Collection II

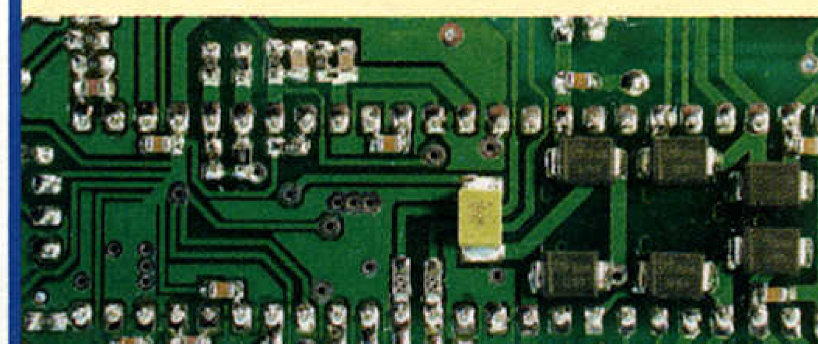
Een unieke CD-ROM voor de ware audio-liefhebber, met meer dan 75 verschillende audio-zelfbouwschakelingen uit de jaargangen 2000-2004 van Elektuur. Met o.a. artikelen over versterkers, meet- en testapparatuur, digitale audio en luidsprekertechniek. Inclusief Acrobat Reader voor het bekijken en afdrukken van de artikelen, schema's en printlayouts.



ISBN 90-5381-176-1
€ 18,50

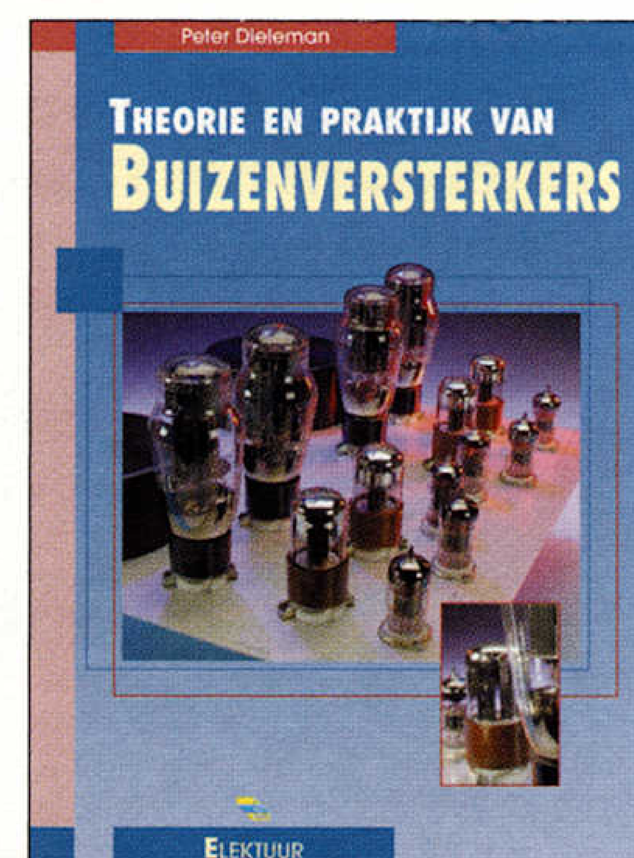
ClariTy eindversterker

Efficiënt, compact en niettemin met specificaties die menig conventioneel ontwerp moeiteloos overtreffen. Dat is de ClariTy eindversterker van Elektuur. De 2x300-W-versterkerprint heeft zeer bescheiden afmetingen. Een groot deel van de componenten is namelijk in SMD uitgevoerd en aan de onderzijde van de print geplaatst. Elektuur maakt de bouw van deze versterker wel heel gemakkelijk. Voor slechts € 49,00 ontvangt u de stereo versterkerprint met alle SMD-componenten reeds voorgemonteerd. De twee ringkernen voor de uitgangsfilters worden meegeleverd.



Art.-Nr 030217-91
€ 49,00

Theorie en praktijk van buizenversterkers



In dit boek is getracht alle, voor audiodoeleinden belangrijke, theoretische en praktische buizenkennis te bundelen. In de eerste hoofdstukken wordt de bouw en de werking van buizen toegelicht. Er zijn ook twee wat meer losstaande hoofdstukken opgenomen over vervorming en ruis, microfonie en andere nare bijgeluiden. Vier hoofdstukken beschrijven complete ontwerpen. Hierbij worden van alle onderdelen de berekeningen en de ontwerpoverwegingen gegeven.

ISBN 90-5381-151-6 • 239 pagina's • **€ 34,50**

Buizenversterkers
repareren-restaureren-modificeren



Repareren, modificeren en soms ook restaureren van buizenversterkers is hedentendage voorbehouden aan een enkele specialist. Rainer zur Linde houdt zich al jaren met buizenversterkers bezig en geeft zijn kennis in dit boek aan de lezer door. Aan de hand van een aantal klassieke ontwerpen wordt aangegeven waar verbeteringen kunnen worden aangebracht en waarmee rekening moet worden gehouden bij het vervangen van buizen. Zowel theorie als praktijk komen uitvoerig aan bod. Daarmee wordt dit specialisme voor iedereen toegankelijk. Een schemaverzameling en een symptoom/diagnoselijst completeren dit boek.

ISBN 90-5381-124-9 • 256 pagina's • **€ 29,50**

Moderne High-End buizenversterkers



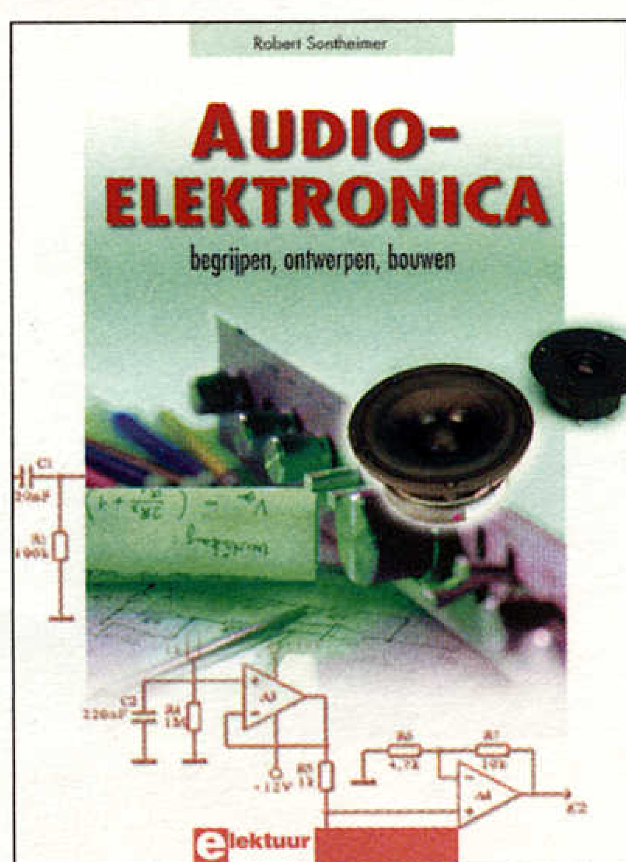
De combinatie van klassieke techniek met moderne componenten heeft geleid tot een ware revival van de buizenversterker. De toepassing van de in de afgelopen 15 jaar door de auteur ontwikkelde "ringkern-uitgangstransformatoren" heeft daar mede toe bijgedragen. Het hoe en waarom van de transformator wordt in dit boek op verschillende niveaus uitgelegd, van inleidende begripsvorming tot complete wiskundige beschrijvingen. Zowel de zelfbouwer als degene die kennis en inzicht wil verwerven in de complexe materie van transformatoren, buizenversterkers en audiosignaalverwerking zal dit boek met plezier ter hand nemen.

ISBN 90-5381-089-7 • 256 pagina's • **€ 39,50**

Segment BV
Postbus 75
6190 AB Beek
Tel.: +31 (0)46 - 43 89 444
Fax: +31 (0)46 - 43 70 161
E-mail : verkoop@elektuur.nl
Internet: www.elektuur.nl

vindt u op onze website: **www.elektuur.nl**

Audio-elektronica



Hoe komt geluid van band, plaat of CD bij de luidsprekers terecht? Via "begrijpen, ontwerpen en bouwen" geeft dit boek een antwoord. *Begrijpen* is de rode draad die door dit boek loopt. Bij alle beschrijvingen van alle componenten en modules probeert de schrijver begrijpelijk te maken wat er eigenlijk gebeurt. Eenmaal begrepen, ligt als volgende stap het zelf *ontwerpen* van schakelingen voor de hand. De stap *bouwen* bevat beschrijvingen van allerlei effect- en andere geluidsapparatuur, afgesloten met een verzameling tips en trucs.

ISBN 90-5381-193-1 • 232 pagina's • **€ 29,50**

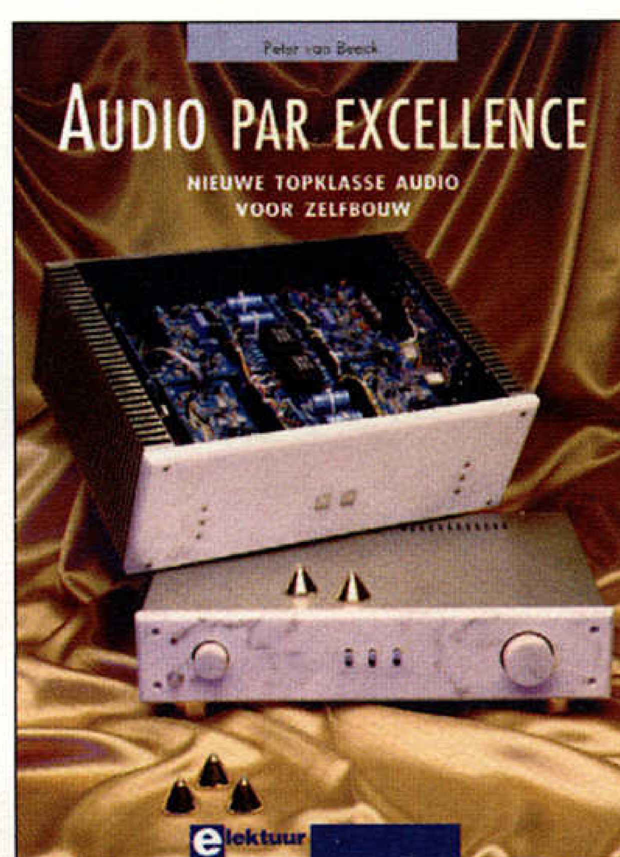
Kleine zenders voor zelfbouw



Er zijn niet zoveel boeken te vinden over het ontwerpen en bouwen van zenders met een klein uitgangsvermogen. Dit boek beschrijft nauwkeurig de werking en de bouw van maar liefst twintig audio- en videozender(tje)s. Daarmee biedt het aan de amateur-elektronicus, technicus, zendamateur en andere radio-enthousiasten het noodzakelijke materiaal om zich verder te bekwamen op dit gebied. Er wordt slechts weinig aandacht besteed aan de theorie, maar dat heeft een groot voordeel: ruim 300 pagina's vol praktijk!

ISBN 90-5381-167-2 • 312 pagina's • **€ 38,50**

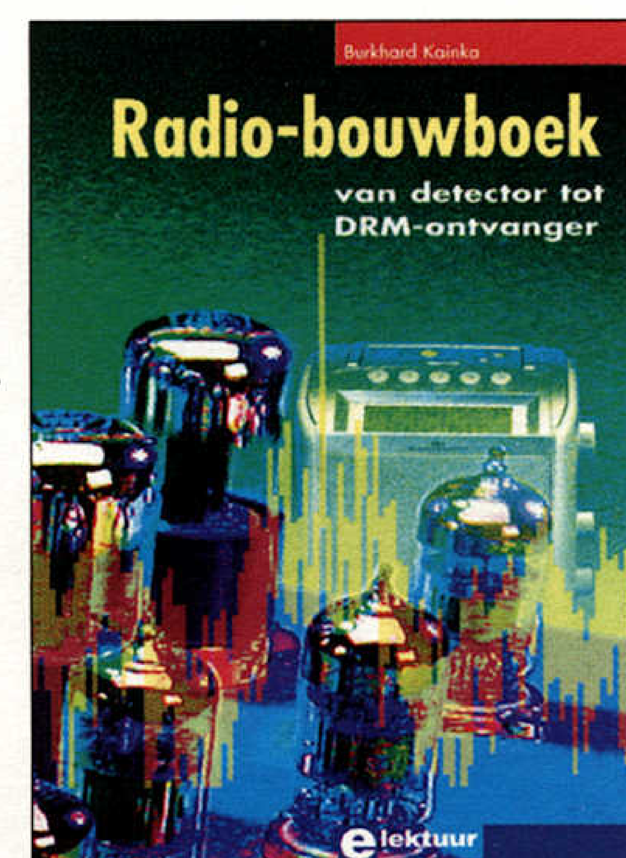
Audio par excellence



Een collectie artikelen uit het elektronica-maandblad Elektuur, met als thema "natuurgetrouwe geluidsweergave". Er worden zowel voor- als eindversterkers behandeld, alsook een aantal luidsprekerkasten. Bovendien treft u er een aantal nuttige schakelingen in aan die bij het ontwerpen van geluidsinstallaties goed van pas komen. Het boek geeft met name aandacht aan de realisatie van audio-versterkers, zonder de theoretische achtergronden te diepgaand te behandelen. Eenieder die handig is met de soldeerbout, is met dit boek in staat zijn eigen high-end geluidsinstallatie te bouwen.

ISBN 90-5381-188-5 • 208 pagina's • **€ 24,50**

Radio-bouwboek



De zelfbouw van radio's is weliswaar een oud maar daarom niet minder actueel thema. Knutselen met radio's vormde voor generaties elektronici de eerste kennismaking met dit vakgebied. Inmiddels gebeurt dat ook op andere manieren. Vooral via de computer, microprocessoren en de digitale techniek. De analoge grondslagen van de elektronica blijven daarbij echter vaak onderbelicht. De radiotechniek is bij uitstek geschikt om de elektronica te leren begrijpen, omdat u hier letterlijk aan de basis kunt beginnen.

ISBN 90-5381-209-1 • 232 pagina's • **€ 29,50**

Gitaarelektronica



Dankzij de elektronica heeft de gitaar de plaats kunnen verwerven die hij in de hedendaagse muziek inneemt. Dezelfde elektronica bepaald ook de klankkleur van de elektrische gitaar. Hoe komt die klank tot stand en wat is er voor nodig om bepaalde effecten te bereiken? Dit boek vertelt enerzijds hoe een bepaalde sound ontstaat en levert anderzijds de informatie om een naar persoonlijke smaak samengestelde versterker te kunnen bouwen. De basis daarvoor is een modulair opgezet systeem, waarvan ook enige effectmodules (inlusbaar) deel uit maken. Gitaristen geven, vanwege hun karakteristieke eigenschappen, meestal de voorkeur aan buizenversterkers. Veel van de schakelingen in dit boek zijn dan ook voorzien van elektronenbuizen.

ISBN 90-5381-110-9 • 192 pagina's • **€ 29,50**

Luidsprekerkasten ontwerpen



Dit boek reikt u alle kennis aan om eindelijk het luidsprekersysteem van uw dromen te bouwen. Beschreven wordt niet alleen hoe u op eenvoudige wijze precies de juiste componenten en behuizingen kiest en het systeem op oogstrelende wijze afwerkt, maar ook hoe u uw favoriete muziek op de juiste manier naar uw zelfgebouwde luidsprekersysteem stuurt. Centraal staat daarbij het gebruik van Thiele/Small-parameters, waarmee het gedrag van een luidsprekerchassis eenduidig kan worden beschreven. Nabouwvriendelijke, hoogwaardige ontwerpen, gemakkelijke methoden om uw projecten zelf te testen en een zeer uitgebreid literatuuroverzicht.

ISBN 90-5381-137-0 • 398 pagina's • **€ 37,50**

Golden Ratio Monitor

Een betaalbare, compacte monitor met een evenwichtig klankbeeld



DOOR JEROEN DEZAIRE

Compacte monitor luidsprekers kunnen ondanks hun kleine formaat een evenwichtig klankbeeld neerzetten, zeker indien het afspeelvolume niet te hoog gekozen wordt. Hier wordt een compacte monitor met slechts 7-liter netto inhoud gepresenteerd. De naam van deze luidspreker is ontleend aan de afmeting van de voorzijde, die een breedte/hoogte golden ratio verhouding heeft van 1:1.62.

Het idee voor deze monitor is geboren vanuit het maken van een hoogwaardige surround luidspreker. Deze surround luidspreker is echter ook uitstekend te gebruiken als zelfstandige luidspreker voor mensen die bereid zijn enige concessies aan de weergave van de laagste frequenties te doen. Een luidspreker van dit formaat hoeft feitelijk niet onder te doen voor grotere luidsprekers zolang het afspeelvolume maar niet te hoog wordt gekozen. Het is zelfs zo dat de ruimtelijkheid in de weergave van een dergelijk klein systeem erg lastig is te evenaren door de 'grote jongens'. Eventueel is deze monitor prima te combineren met een goede subwoofer die de laagste tonen tot 60 à 100 Hz voor zijn rekening neemt, afhankelijk van de gewenste belastbaarheid van het systeem. Daarbij geldt dat hoe minder laag de monitor hoeft weer te geven, hoe hoger belastbaar het systeem wordt. De stap naar vijf exemplaren voor een volwaardig thuis bioscoop systeem is dan eenvoudig gemaakt. Dit wil niet zeggen dat de lage frequenties niet worden weergegeven. Ze komen er alleen niet zo krachtig uit. Dit kan een voordeel zijn in moderne huiskamers met harde wanden waar door staande golven een erg diepreikende bas problemen zou opleveren, zeker indien de luidsprekers vlak bij een wand of hoek zijn geplaatst.

Basreflex behuizing

Om toch niet teveel in te boeten aan laag en tegelijk de behuizing zo klein mogelijk te houden is een kast volgens het basreflex principe onvermijdelijk. Een goed afgestemde basreflex kast kan overigens een uitstekend impulsgedrag vertonen en hoeft daarin gehoormatig niet onder te doen voor een gesloten kast. Verder heeft een basreflex kast, naast een dieper reikend laag, een ander groot voordeel ten opzichte van een gesloten kast. Op het resonantiepunt, in dit geval ongeveer 70Hz, slaat de woofer minimaal uit terwijl in een gesloten kast de woofer op dit punt hard moet werken. De behuizing is zo eenvoudig mogelijk gehouden, waarbij toch de nodige aandacht aan stevigheid is besteed. In principe bestaat de behuizing uit zes MDF panelen die koud op elkaar verlijmd zijn door middel van polyurethaan constructie-



Figuur 1. Foto van de losse drivers

lijm. Deze vullende lijm vult eventuele onregelmatigheden zoals gaten en kieren en zorgt ervoor dat de behuizing luchtdicht is. De twee zijpanelen vormen het grootste oppervlak in deze kleine behuizing en zijn daarom voorzien van bracing om het eventuele meebewegen van deze panelen te voorkomen. Deze bracing is een paneel voorzien van één rond gat dat de zijwanden en achterwand ondersteunt en de hoekverbindingen sterker maakt. De baffle is verstevigd met een balkje over de volle breedte om hem virtueel bijna tweemaal zo dik te maken.

De basreflexpoort is aan de achterzijde geplaatst. Dit heeft een aantal redenen; in de eerste plaats zorgt het aan de achterzijde plaatsen voor een zo klein mogelijke baffle. In de tweede plaats is het zo dat er altijd wat ongewenste middentonen door de basreflexpijp naar buiten komen, dit is met een goede demping onhoorbaar indien de pijp aan de achterzijde wordt geplaatst. Voor extra stevigheid is de poort rechthoekig gemaakt en geïntegreerd in de behuizing. De baffle heeft brede facetten gekregen om het afstraalgedrag te bevorderen. Door deze facetten krijgt de voorzijde een breedte van 17,4-cm en een hoogte van 28,2-cm. Dit geeft een verhouding volgens de bekende Golden Ratio die optisch natuurlijk aan doet en door veel kunstenaars is gebruikt. Ook de tweeter is volgens deze verhouding uit het centrum van de baffle geplaatst. De basreflexpoort is rechthoekig en heeft ook Golden Ratio afmetingen van 2,2 bij 9,1-cm.

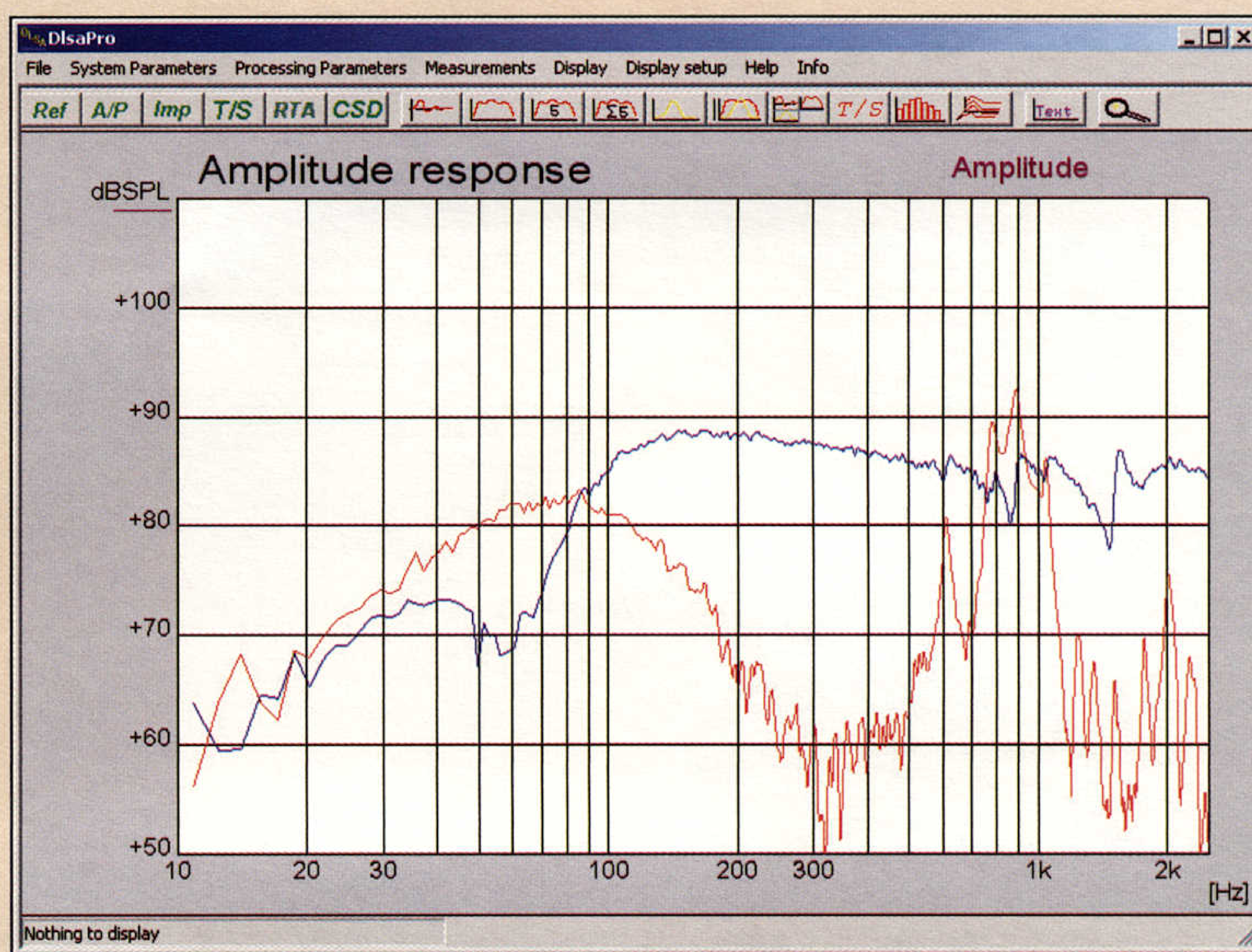
Degene voor wie de monitoren bestemd waren houdt van oude leger jeeps. Daar had hij nog wat verf van staan en hij dacht dat het mooi zou combineren met de kleur van de wanden van zijn huiskamer. Zo gezegd, zo gedaan. Na spiegelglad afwerken van het MDF met grondverf en een laag lakplamuur is de olijfgroene autolak met een rollertje netjes opgebracht. Het resultaat is op de foto te zien. De grijze rand van de midwoofer combineert gemakkelijk met elke kleur, maar zal niet bij iedereen in de smaak vallen. Voor de liefhebber dus, dit expliciete uiterlijk.

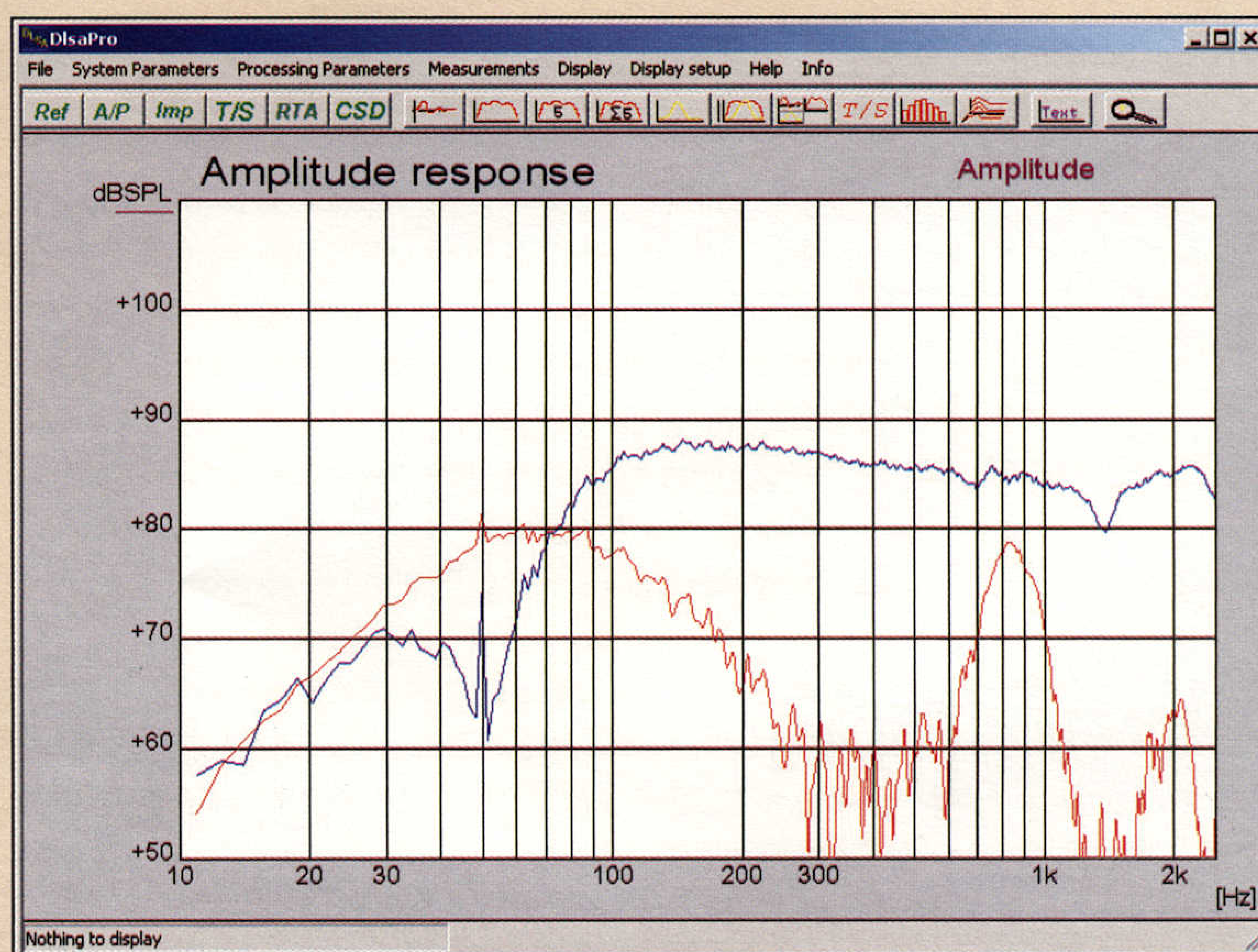
Peerless HDS drivers

Peerless is traditioneel bekend als fabrikant van woofers en midwoofers met een uitstekende prijs/kwaliteitverhouding. Sinds enkele jaren is hieraan een nog verbeterde lijn toegevoegd van HDS midwoofers waarbij HDS staat voor High Definition Sound. Voor deze monitor is gekozen voor de HDS152 Exclusive 5,25" midwoofer en de nieuwe HDS 1" tweeter. De midwoofer heeft aantal opvallende details zoals bijvoorbeeld een aluminium faseplug voor vermindering van compressie en een goede temperatuurhuishouding. Een aluminium kortsluitring en een koperen coating van de poolkappen van de magneet zorgen ervoor dat de vervorming nog verder wordt verminderd. De conus is gemaakt van Nomex, dit is een nylonsoort die beschouwd kan worden als een variant op het bekende Kevlar. Nomex wordt gebruikt bij brandbestrijding vanwege de erg goede hittebestendige en brandwerende eigenschappen. In de toepassing door Peerless levert dit materiaal een compromis tussen stijfheid en interne materiaaldemping om tegelijk de dynamiek te bevorderen en nare resonanties tegen te gaan.

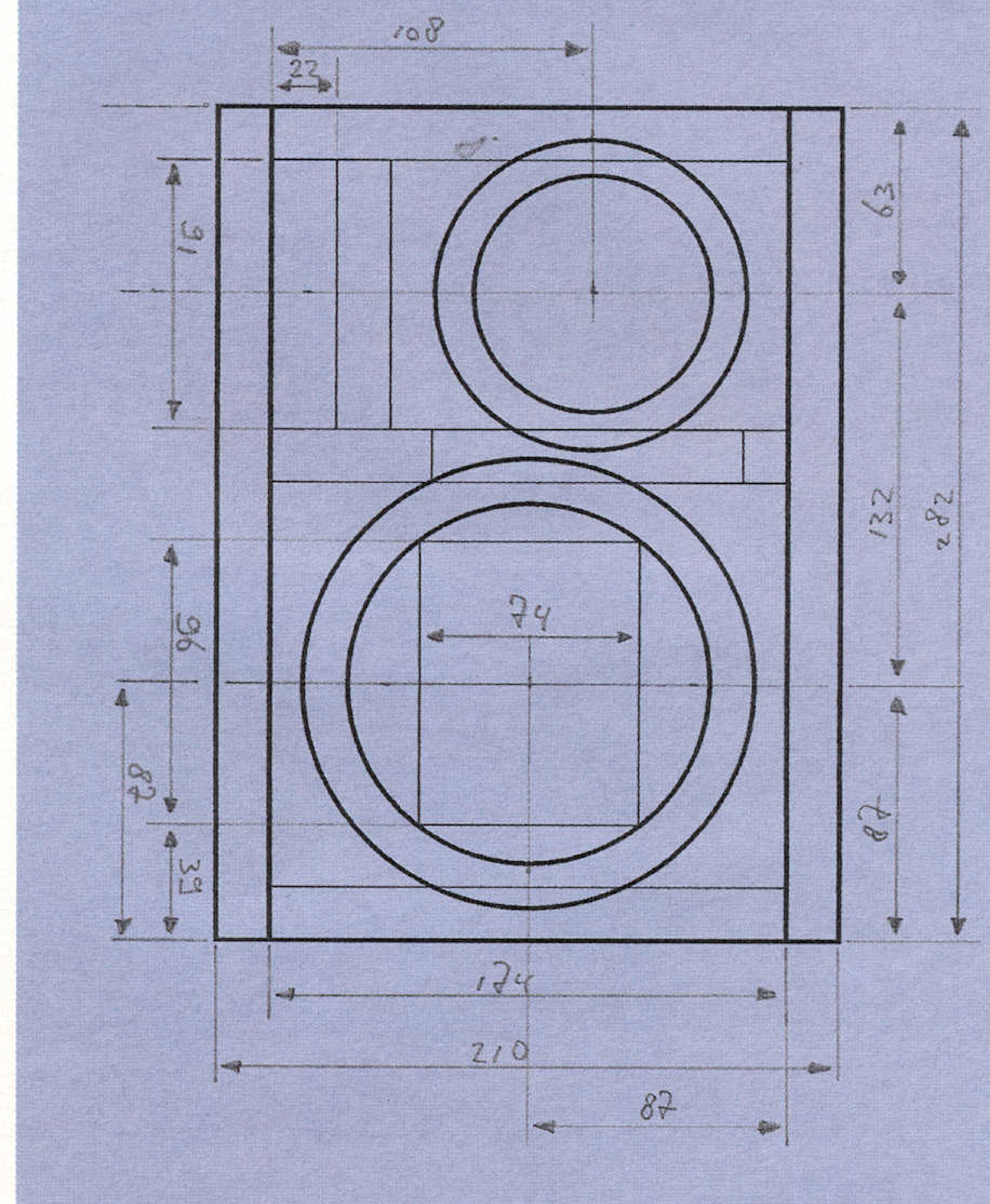
Figuur 2. Dichtbij meting midwoofer en poort, geen dempingsmateriaal in de box

Figuur 3. Dichtbij meting midwoofer en poort, optimale demping in de box



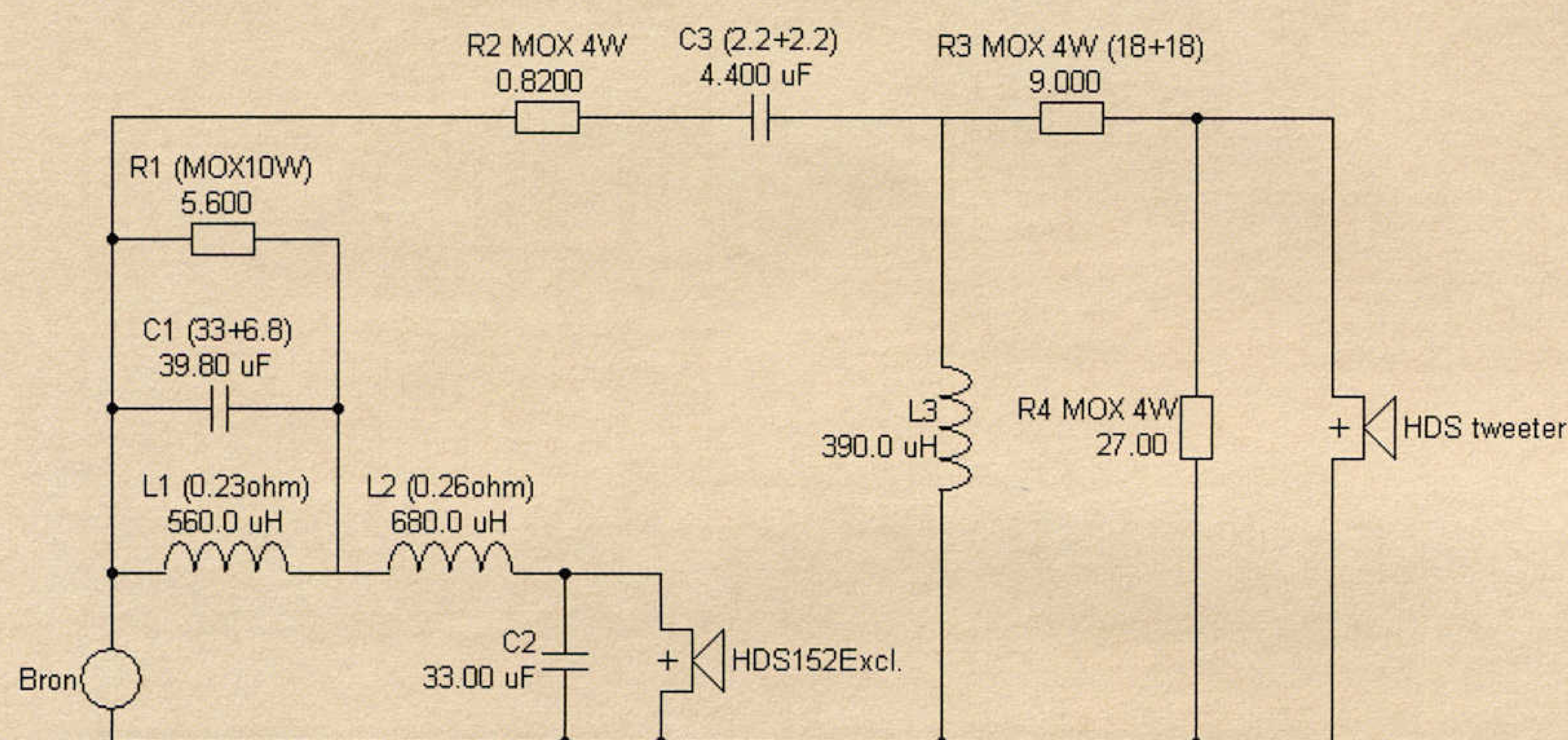


De tweeter is sinds ongeveer een half jaar toegevoegd aan de HDS lijn. Naar eigen zeggen van Peerless heeft deze tweeter een dubbel magneetsysteem met lage compressie, dat speciaal ontworpen is voor de zeer lichte soft-dome. Hiermee wordt een goed dynamisch gedrag beoogd en het voor een soft-dome tweeter hoge rendement van 93dB. Door de voor een tweeter vrij lange luchtspleet van 2,5-mm kan de tweeter met behoud van een lage vervorming relatief grote uitslagen maken.



Dempingmateriaal

De optimale demping voor de behuizing in combinatie met de Peerless midwoofer is bepaald door middel van metingen en luistertesten. In de dichtbij meting is de respons te zien van een meting waarbij de meetmicrofoon op een paar cm van de conus van de midwoofer was geplaatst (blauw). In dezelfde figuur is weergegeven wat de respons is indien de microfoon vlakbij de basreflex poort wordt gepositioneerd (rood). Aan de smalle pieken in de grafieken is heel goed te zien dat de staande golven in de kast door de poort en zelfs ook door de conus van de midwoofer naar buiten komen. Dit is een bekend effect, de conus van de midwoofer is wel stijf maar heeft toch weinig massa en is vrij dun. Daarom is dempingmateriaal absoluut noodzakelijk voor een geluid met niet teveel kleuring door staande golven in de kast.

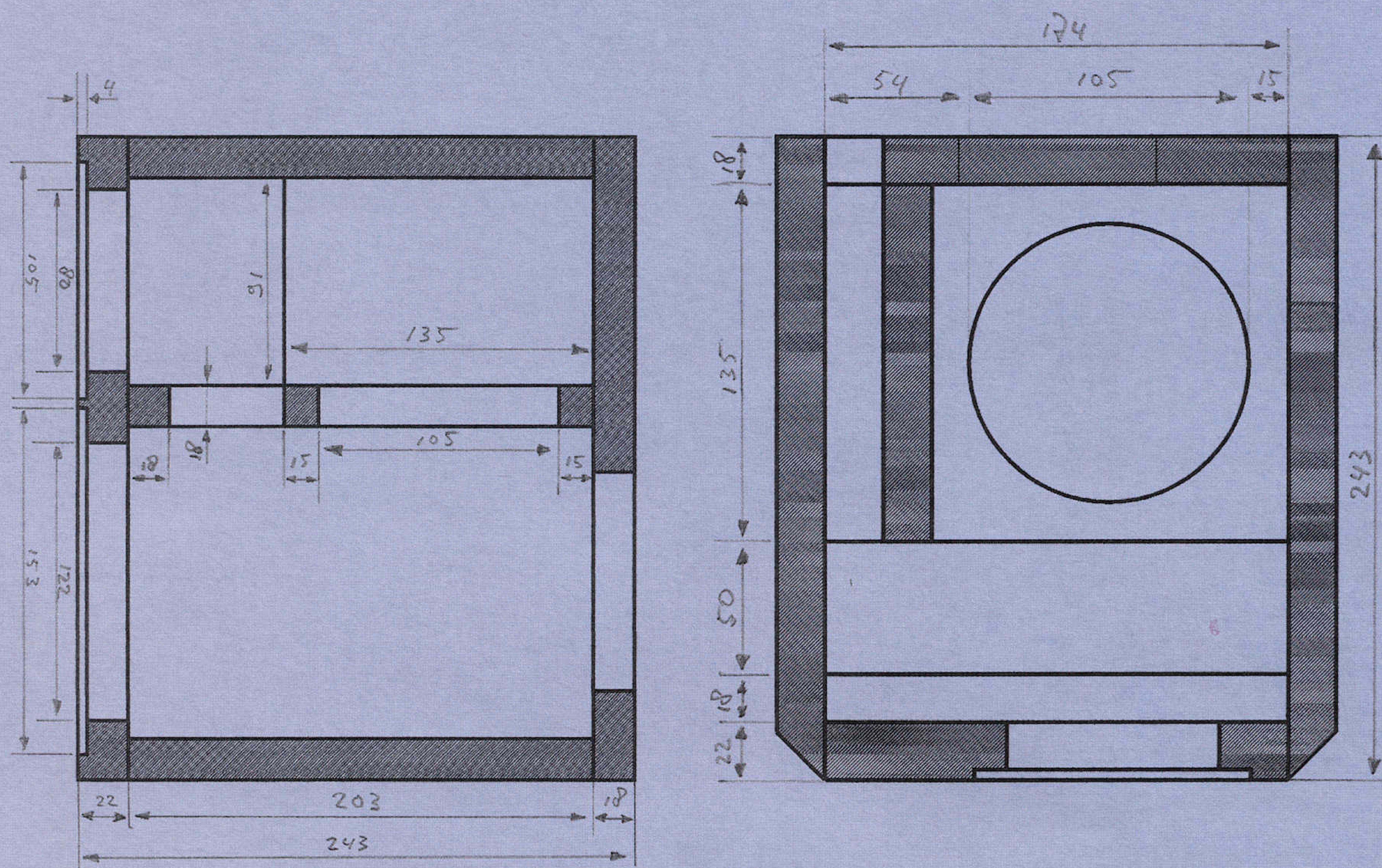


Figuur 4. **Filterschema**

Er is uitgebreid met dempingmateriaal (Pritex en BAF) geëxperimenteerd, van een volledige bekleding van de wanden met Pritex tot een volledige vulling met BAF. De volledige vulling met BAF bleek het beste te werken, mits er ter hoogte van de bracing een stuk Pritex wordt gelijmd van 5 bij 17.4-cm, met de vlakke kant naar boven. Met deze afmeting past het precies tussen de bracing met het ronde gat en het balkje dat de baffle verstevigt. Het stuk Pritex is helemaal rondom aan de rand verlijmd met polyurethaan constructielijm.
Het resultaat van de dempingmaatregelen is een mooi lineair verloop van de output zowel bij de midwoofer als bij de basreflexpoort, zie hiervoor de dichtbij meting met optimale demping. Het stuk Pritex helpt zeer effectief om te voorkomen dat middentonen door de basreflex poort naar buiten komen zetten. De BAF is geknipt uit een enkele mat, dit was voldoende voor beide luidsprekerkasten. De bedoeling is dat het BAF exact op maat wordt geknipt nadat het filter is gemonteerd, het is niet de bedoeling dat het BAF bij de montage wordt samengedrukt. Achter de woofer worden in de hoogte- en diepterichting vijf matjes van 16x13,7-m geplaatst. Naast de basreflexpoort, in het bovenste gedeelte van de kast, worden vier matjes van 13,5x9,1-cm in de hoogte- en diepte richting geplaatst. De ruimte achter de tweeter wordt gewoon vrijgelaten om te voorkomen dat de werking van de basreflex poort teveel gedempt wordt.

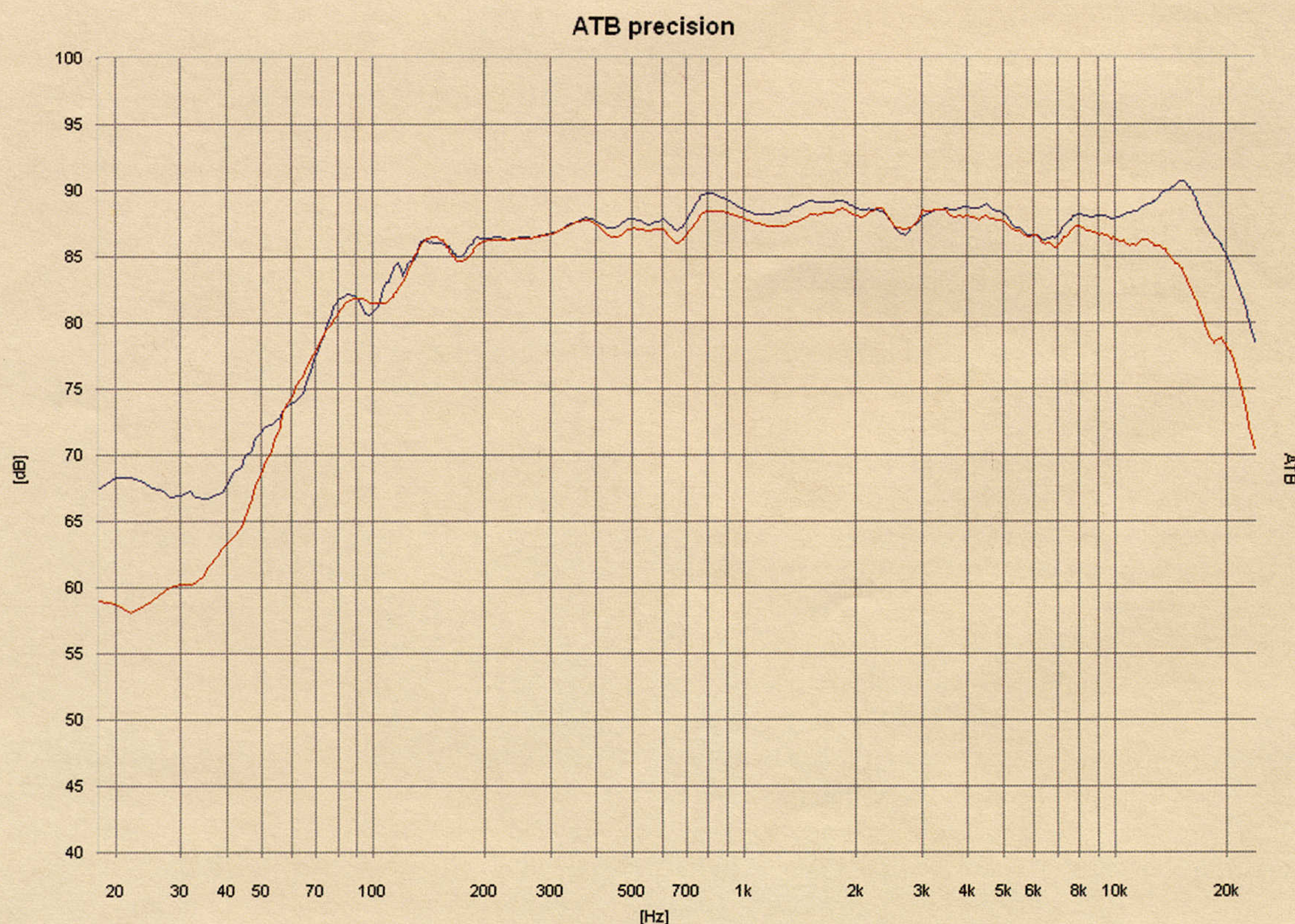
Scheidingsfilter

Het scheidingsfilter oogt wat ingewikkeld, maar is feitelijk een vrij standaard 2de orde elektrisch filter, voorzien van een extra notch circuit (L1, C1 en R1). Deze componenten vormen in combinatie met de impedantie van de midwoofer en tweeter in de kast een 3de orde laagdoorlaatfilter en een 4de orde hoogdoorlaatfilter. Nu zult u misschien zeggen, hoe kan dat nu? Welnu, dat heeft te maken met het feit dat drivers niet vlak verlopen en hun eigen laag- en hoogdoorlaat respons toevoegen aan het filter. Daardoor is het eindresultaat, zoals dat met een meetmicrofoon kan worden nagemeten, vaak anders dan de componenten van het scheidingsfilter doen vermoeden.
De laagdoorlaatfilter respons is bewust een orde lager gekozen dan de hoogdoorlaat respons, omdat het akoestische centrum van de midwoofer ongeveer 2 cm achter dat van de tweeter staat. Hiermee wordt bedoeld dat de midwoofer niet in hetzelfde verticale vlak als de tweeter ligt. De conus van de midwoofer is een flauwe kegel waarvan het middelpunt wat naar achteren staat. Dit geeft extra fasedraaiing aan de respons, het is dus net alsof de midwoofer ietsje verder weg is van de luisteraar dan de tweeter. Dit kan worden gecompenseerd

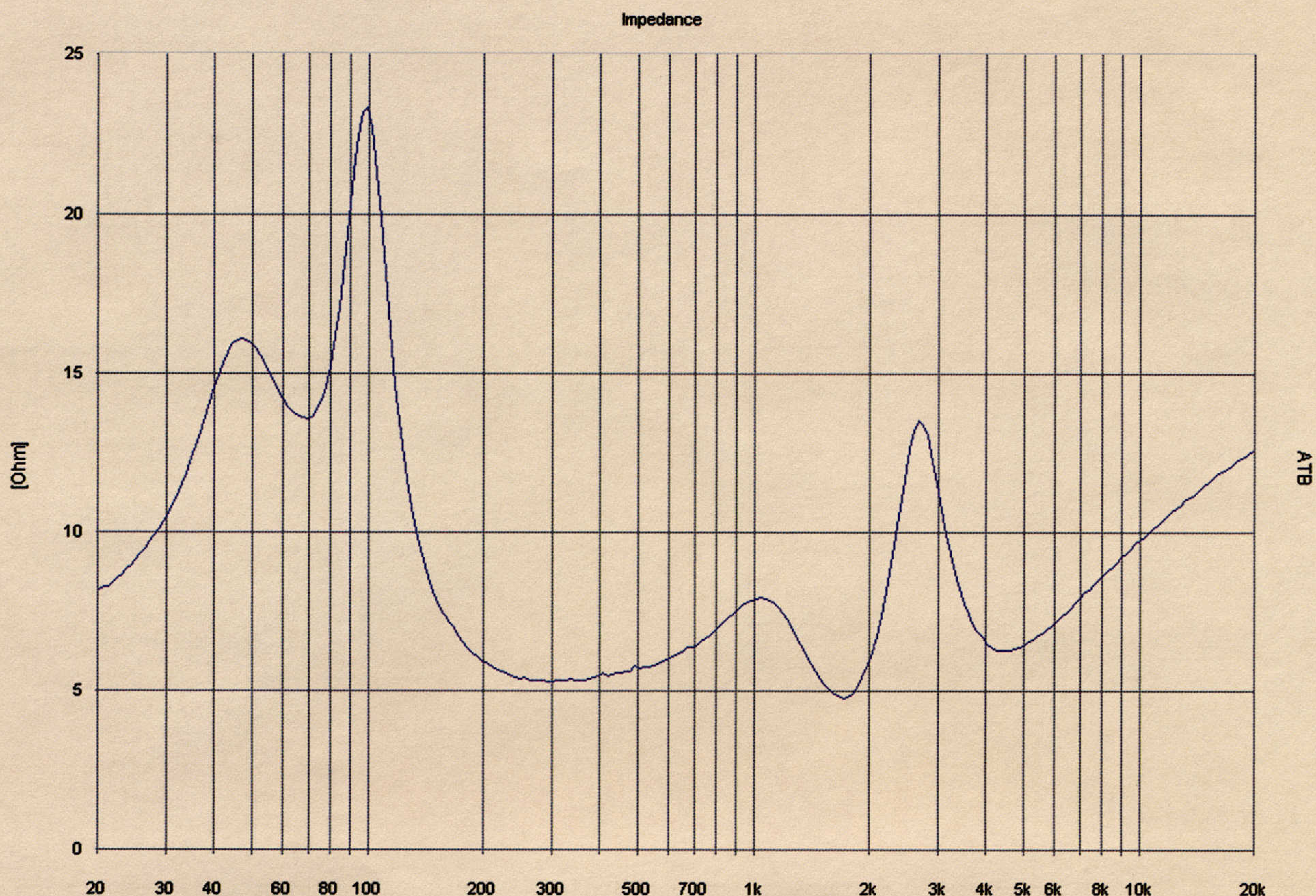


door de tweeter virtueel ook wat naar achteren te plaatsen, met een hogere orde filter dat van zichzelf al wat extra fasedraaiing geeft.
Daarom dus een 3de orde respons voor de midwoofer en een 4de orde respons voor de tweeter, zodat onderlinge fasegelijkheid ontstaat en een optimaal vlak totaalverloop wordt verkregen. Het extra notch circuit in het laagdoorlaatfilter dempt het gebied rond 1000Hz extra. De positionering van de midwoofer, in combinatie met de afmetingen van de behuizing, bleek zodanig uit te pakken dat er een sterke piek in de respons door diffractie ontstaat bij 1000Hz. Voor de niet-ingewijden; diffractie is het reflecteren van de geluidsgolven tegen de randen van de behuizing. Er is bewust niet besloten om de behuizing anders van afmeting of groter te maken, het doel van dit ontwerp was een zo klein mogelijke behuizing met behoud van zoveel mogelijk geluidskwaliteit. Elke luidspreker is een compromis en dat resulteert in dit geval in een wat complexer scheidingsfilter. Bij het ontwerpen en luisteren bleek dat een overnamefrequentie van 2400Hz optimaal was. Er is niet bezuinigd op filtercomponenten. Voor de filterspoelen zijn Intertech-

Figuur 5.
Bouwtekening kast



Figuur 6.
Frequentie karakteristiek



Figuur 7:
Impedantie curve

nik Air Therm exemplaren gekozen. Deze spoelen worden onder hoge temperatuur in een oven geplaatst zodat de buitenkant van isolatielak van het koperdraad met elkaar versmelt. Dit voorkomt microfonie, de spoelwikkelingen kunnen immers niet bewegen ten opzichte van elkaar. Het resultaat is een schoner en ruimtelijker geluid. Natuurlijk kan ook gebruik worden gemaakt van standaard luchtspoelen die ongeveer tweemaal zo goedkoop zijn. Hetzelfde geldt voor de condensator van het hoogdoorlaatfilter. Natuurlijk kunnen standaard Audyn Cap QS exemplaren worden gebruikt, maar Audyn Cap Plus exemplaren zorgen voor net wat extra verfijning en detail in het hoog.

Resultaat

Wat direct opvalt bij het beluisteren van deze monitor is de kwaliteit van de midden en hoog weergave, deze staat niet ter discussie en is gewoon erg goed. De algemene indruk van de weergave is dat deze mooi rustig en evenwichtig is zonder dat er details verloren gaan. Het totale geluidsbeeld is daarmee erg open van klank met een diepe en brede soundstage. Ruimtelijkheid is volop aanwezig. Er kan urenlang naar de Golden Ratio Monitors worden geluisterd zonder dat er zogenaamde luistermoeheid optreedt. Doordat er veel tijd is besteed aan de filtering en correcte demping van de kast is het geluid vrij van kleuring zodat de luidspreker uitstekend geschikt is voor klassieke en akoestische muziek. Ook vocale muziek klinkt erg natuurlijk; de weergave van stemmen mag als één van de sterkste punten van deze luidspreker worden beschouwd. Mannenstemmen worden met voldoende 'body' weergegeven en vrouwenstemmen klinken warm en helder, een combinatie die je niet vaak tegenkomt.

Het hangt een beetje af van de luisterruimte hoe de weergave uitpakt in het laag. De monitor is in verschillende ruimtes beluisterd en in sommige ruimtes heb je niet eens in de gaten dat het laag beneden 60Hz toch echt vrij steil wegvalt. In andere ruimtes valt het gebrek aan een diep doorlopende laagweergave wat meer op en krijg je behoefte aan ondersteuning van een extra (sub)woofer. Wát er uitkomt aan laag is echter altijd zeer gecontroleerd en strak en doet kwa karakter denken aan het geluid van een gesloten box.

Voor toepassing als surround luidspreker is de prijs misschien niet echt aan de lage kant, maar bedenk dan wel dat deze luidspreker zonder probleem gecombineerd kan worden met hoofdluidsprekers van topkwaliteit. De kleine afmetingen doen wat de integratie in het interieur betreft vervolgens de rest; je kunt deze luidspreker altijd wel ergens kwijt. Met standaard filtercomponenten kan de prijs eventueel met enkele tientallen euro's omlaag worden gebracht.

Naam:	Golden Ratio Monitor
Principe:	2-weg bassreflex-systeem
Ontwerp:	Jeroen Dezaire
Woofer:	Peerless HDS-152EXCL
Tweeter:	Peerless HDS104DT26
Scheidingsfilter:	2400Hz, 12/18dB
Afmetingen:	282 x 210 x 234 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	7 liter
Prijs bouwpakket:	€ 205,- (drivers + scheidingsfilter)
Prijs houtpakket:	€ 15,-, (1 plaat 18 mm MDF en 1 plaat 22 mm MDF)



ScanSpeak Maxima

Maximale prestaties in de huiskamer

DOOR RUUD JANSEN

Hoe ontwerp je een luidspreker die een welhaast compromisloze weergave combineert met afmetingen die nog acceptabel zijn voor plaatsing in een gewone, wat ruimere huiskamer? Deze vraag ligt ten grondslag aan het ontwerp van de ScanSpeak Maxima. Het weergeven van een zo groot mogelijk frequentiebereik, liefst vanaf zo'n 20Hz tot ver boven het hoorbare bereik, met een op ieder luisterniveau een zo laag mogelijke vervorming is niet zo eenvoudig als het lijkt.

In de Elektuur Luidspreker Specials uit het verleden zijn een overvloed aan zelfbouw luidsprekers beschreven. In de meeste gevallen betrof het hier ontwerpen met een hoge prijs/kwaliteitsverhouding en soms een wat bijzondere vormgeving of een niet alledaagse samenstelling. Heel af en toe kwam er een vlaggenschip van een "dure" fabrikant langs en dat was dan gelijk immens groot systeem met het formaat van een dubbeldeurs koelkast. Speakerland heeft een poging gewaagd om de ultieme luidspreker te ontwerpen die dusdanige afmetingen heeft dat plaatsing in een "gewone" huiskamer nog prima te doen is.

De opzet

Ruud Jansen van Speakerland vond de oplossing in de toepassing van een twee-weg systeem, uitgevoerd volgens het d'Appolito concept en aangevuld met een actief aangestuurde 10" woofer in een gesloten kast. De behuizingen voor het laag en het mid-hoog zijn hierbij volledig van elkaar gescheiden. Tussen de kasten zijn dempers geplaatst die moeten voorkomen dat de afzonderlijke kasten elkaar beïnvloeden. Het passieve scheidingsfilter is geplaatst in de baskast. Op deze manier is er wat meer ruimte voor de filteronderdelen die net als de luidsprekers van een zeer hoge kwaliteit, en derhalve nogal aan de maat zijn. Daarbij past het in de compromisloze opzet om de spoelen wat verder uit elkaar te zetten en ook haaks op elkaar, zodat de magnetische velden elkaar niet kunnen beïnvloeden. De verbinding tussen topkast en baskast wordt gemaakt met kabels die via de achterzijde naar boven lopen en worden door middel van WBT connectoren met de luidsprekers in de kast verbonden. Uit eerdere ervaringen met de R2904/7000 ringradiator van ScanSpeak was duidelijk dat deze tweeter het mogelijk maakt aan alle eisen te voldoen die je aan de hoge tonen weergave kunt stellen. De afwijkende concentrische membraanconstructie met het puntje in het midden heft het eeuwig terugkomende euvel van de opbrekende dome op en zorgt zo voor een detailweergave met de vanzelfsprekendheid van een elektrostaat. De 15-cm mid-woofers van dezelfde fabrikant zijn gelijk aan de mid-woofers van de Mini-Reference, die elders in deze uitgave wordt besproken.







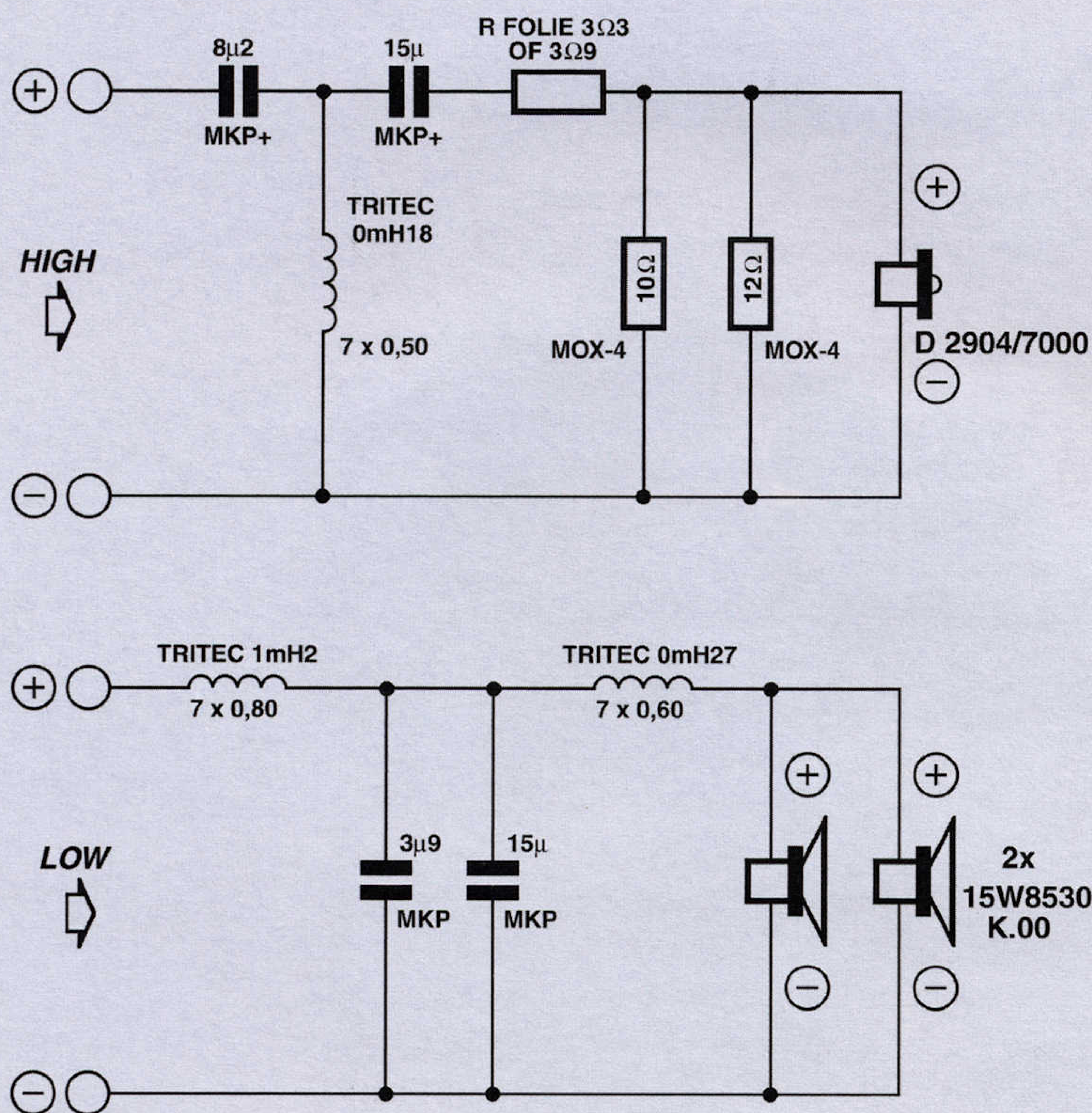
Figuur 1. Foto van de losse drivers, voor en achterkant

De voordelen van actief laag

De natuurwetten zijn de laatste decennia niet veranderd, maar de doorsnee luidspreker is in die periode wel flink gekrompen. Waren 20-jaar geleden de meeste grote luidsprekers (Kef, Infinity, AR) uitgevoerd als gesloten systeem, tegenwoordig is basreflex de norm. Door de energie die aan de achterkant van de woofer wordt uitgestraald te "recyclen" via een resonantie in een afgestemde poort kun je flink wat meer laag uit hetzelfde kastformaat halen. Elk voordeel heeft z'n nadeel, bij een basreflex ontstaat een forse fasedraaiing en dus een tijdsvertraging in de laagweergave.

Deze versmering van de laagenergie in de tijd geeft het basreflex systeem zijn karakteristieke warme en wollige karakter. Als je daar van houdt, prima, maar als je écht wilt horen wat er precies in het lagetonenbereik gebeurt, is een gesloten systeem toch superieur. De ScanSpeak 23W 10" woofer is een van de eerste basluidsprekers van deze fabrikant die is uitgevoerd met een aluminium membraan. Zoals op de foto te zien is wordt deze in het zwart geleverd, maar er is ook een versie verkrijgbaar met een blank aluminium membraan. De ScanSpeak woofer is er één met heel speciale eigenschappen: in een kleine gesloten kast van slechts 30-liter komt deze woofer op een –3dB punt van 35 Hz. Door de grote lineaire membraanuitslag van maar liefst 26-mm top-top kan er in dat laag ook nog een forse geluidsdruk behaald worden. Eén nadeel heeft deze woofer echter wel, het rendement is namelijk erg laag, de woofer komt niet verder dan 82 dB op 1W/1m. De ontwerpers bij ScanSpeak hebben ook op dit punt kwaliteit boven kwantiteit gesteld. Gelukkig hebben we tegenwoordig hele compacte versterkers die door de Groningse firma Hypex compleet met elektronisch cross-over als subwoofer versterker worden geleverd. De hier toegepaste DS 4.0 levert 400W RMS schoon aan de haak en dat is genoeg om de ScanSpeak woofer volledig uit te kunnen sturen.

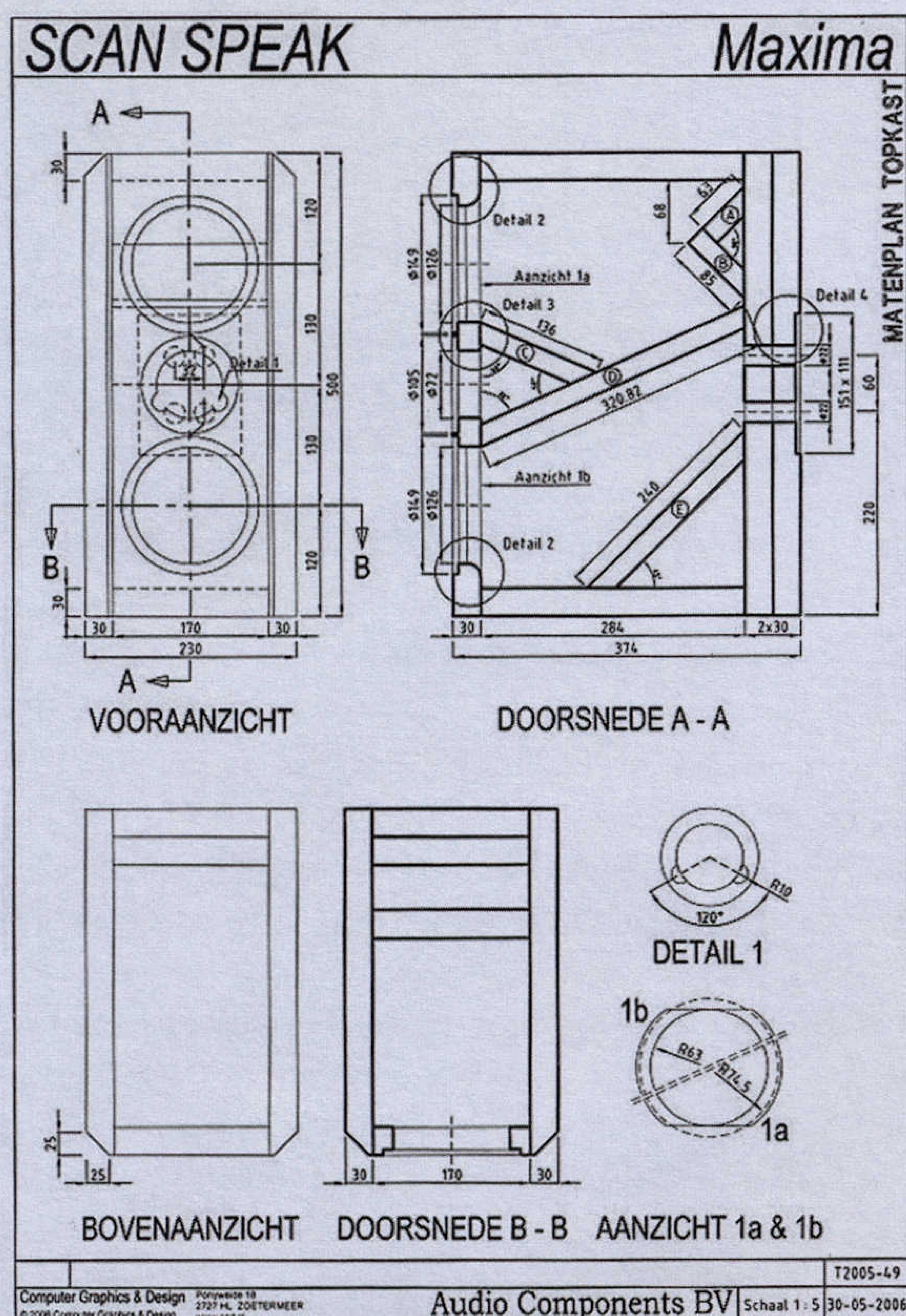
Figuur 2. Filterschema

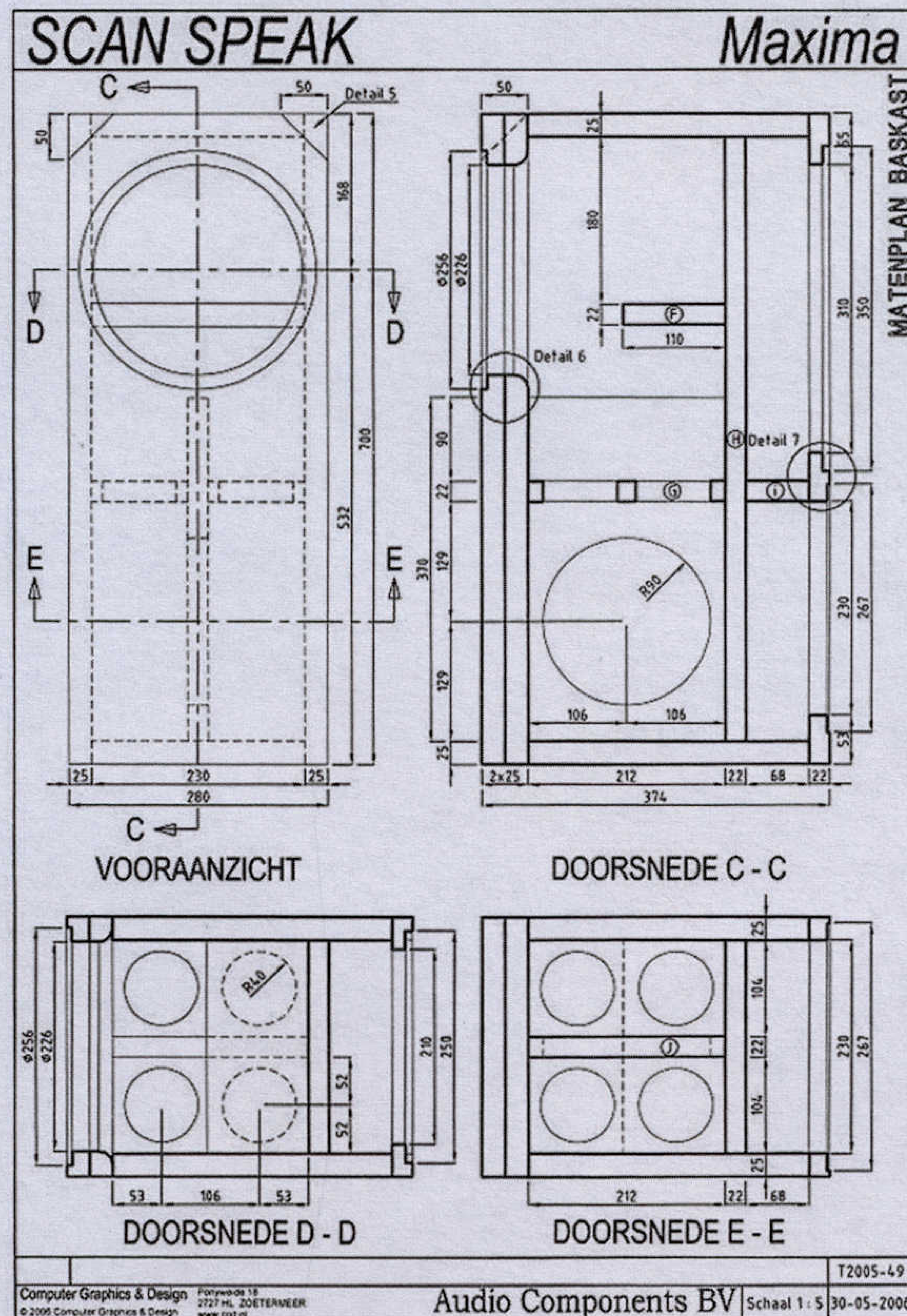


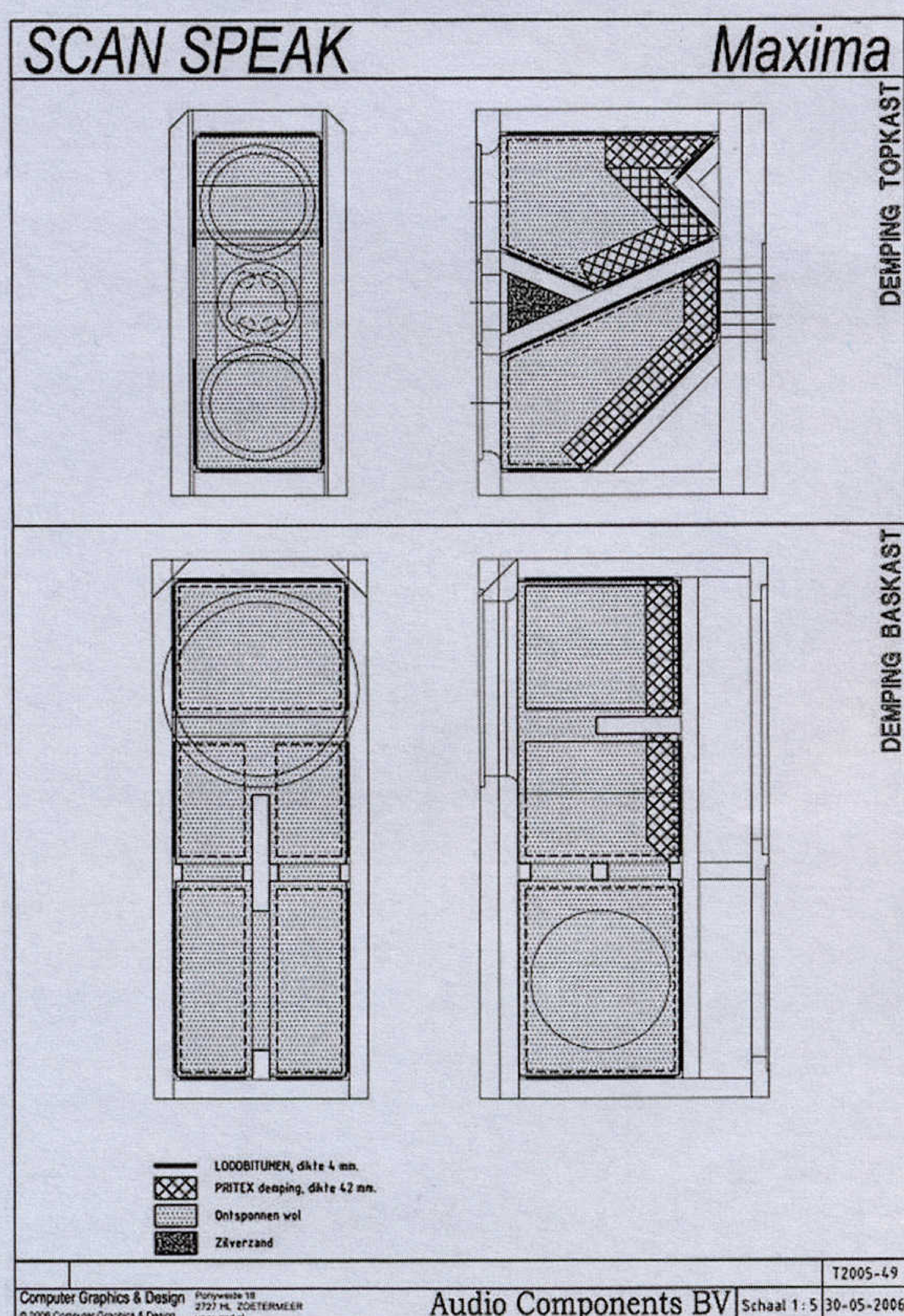
Constructie

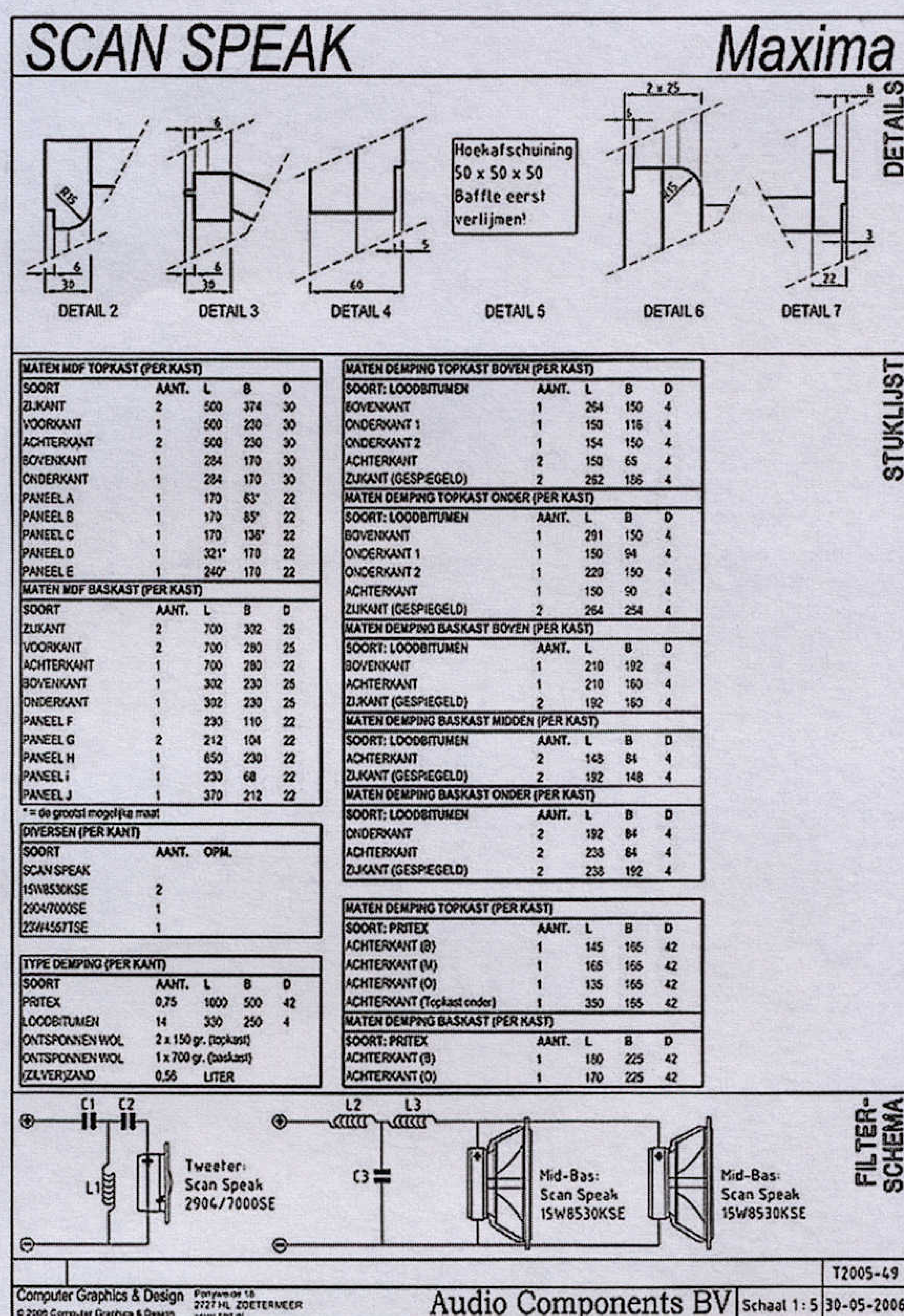
Het bovenste deel van het systeem huisvest de ScanSpeak ringradiator tweeter met daar boven en onder de 15-cm ScanSpeak Revelator mid-woofers. Elk van de drivers heeft zijn eigen afgesloten compartiment. Voor de tweeter is dit niet echt nodig maar op deze manier kan de ruimte achter de tweeter opgevuld worden met zand, een optie die de definitie in het hoog nog kan vergroten. In de kast zijn panelen verlijmd die onder hoeken geplaatst zijn. Op deze manier wordt het ontstaan van staande golven, en dus resonanties, voorkomen. De achterwand is dubbel uitgevoerd om de stabiliteit van de behuizing te verbeteren. De gaten voor de mid-woofers zijn aan de achterzijde afgerond, het is immers belangrijk dat er zo min mogelijk belemmeringen zijn voor de luchtbeweging achter de conus. Naast de loodbitumenbekleding is tegen de achterwand Pritex dempingsschuim aangebracht, en wordt de rest van de ruimte opgevuld met schapenwol.

Tijdens het ontwerpproces is gebleken dat de 10" woofer die zorgt voor de aanvulling in het laag beter niet aan de zijkant van de kast kan worden geplaatst. Een dergelijke oplossing wordt wel vaak toegepast, om zo de kast lekker smal te houden. Met de prototype kasten zijn de diverse opstellingen uitgeprobeerd, maar zowel gehoormatig als meettechnisch ontstonden problemen in de overgang tussen het (sub-) laag en de rest van het









MATEN MDF TOPKAST (PER KAST)				
SOORT	AANT.	L	B	D
ZIJKANT	2	500	374	30
VOORKANT	1	500	230	30
ACHTERKANT	2	500	230	30
BOVENKANT	1	284	170	30
ONDERKANT	1	284	170	30
PANEEL A	1	170	63*	22
PANEEL B	1	170	85*	22
PANEEL C	1	170	136*	22
PANEEL D	1	321*	170	22
PANEEL E	1	240*	170	22

MATEN MDF BASKAST (PER KAST)				
SOORT	AANT.	L	B	D
ZIJKANT	2	700	302	25
VOORKANT	2	700	280	25
ACHTERKANT	1	700	280	22
BOVENKANT	1	302	230	25
ONDERKANT	1	302	230	25
PANEEL F	1	230	110	22
PANEEL G	2	212	104	22
PANEEL H	1	650	230	22
PANEEL i	1	230	68	22
PANEEL J	1	370	212	22

* = de grootst mogelijke maat

DIVERSEN (PER KANT)		
SOORT	AANT.	OPM.
SCAN SPEAK		
15W8530KSE	2	
2904/7000SE	1	
23W4567TSE	1	

TYPE DEMPING (PER KANT)				
SOORT	AANT.	L	B	D
PRITEX	0,75	1000	500	42
LOODBITUMEN	14	330	250	4
ONTSPONNEN WOL	2 x 150 gr. (topkast)			
ONTSPONNEN WOL	1 x 700 gr. (baskast)			
ZILVERZAND	0,56	LITER		

MATEN DEMPING TOPKAST BOVEN (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
BOVENKANT	1	264	150	4
ONDERKANT 1	1	150	116	4
ONDERKANT 2	1	154	150	4
ACHTERKANT	2	150	65	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	262	186	4
MATEN DEMPING TOPKAST ONDER (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
BOVENKANT	1	291	150	4
ONDERKANT 1	1	150	94	4
ONDERKANT 2	1	220	150	4
ACHTERKANT	1	150	90	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	264	254	4
MATEN DEMPING BASKAST BOVEN (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
BOVENKANT	1	210	192	4
ACHTERKANT	1	210	160	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	192	160	4
MATEN DEMPING BASKAST MIDDEN (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
ACHTERKANT	2	145	84	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	192	148	4
MATEN DEMPING BASKAST ONDER (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
ONDERKANT	2	192	84	4
ACHTERKANT	2	238	84	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	238	192	4

MATEN DEMPING TOPKAST (PER KAST)				
SOORT: PRITEX	AANT.	L	B	D
ACHTERKANT (B)	1	145	165	42
ACHTERKANT (M)	1	165	155	42
ACHTERKANT (O)	1	135	165	42
ACHTERKANT (Topkast onder)	1	350	155	42
MATEN DEMPING BASKAST (PER KAST)				
SOORT: PRITEX	AANT.	L	B	D
ACHTERKANT (B)	1	180	225	42
ACHTERKANT (O)	1	170	225	42

Figuur 3.
Bouwtekening kast

spectrum. Door de woofer aan de voorzijde te plaatsen werd de baskast breder dan de topkast. Een facet in de bovenhoeken zorgt voor de optische aanpassing tussen de kasten. De subkast biedt naast de kastinhoud voor de woofer ook ruimte aan de Hypex DS 4.0 subwoofer versterker, die aan de achterzijde een eigen ruimte heeft gekregen. Erboven kan het filter worden geplaatst, ook in een aparte ruimte. Hier is gekozen voor een transparante afdekplaat zodat het scheidingsfilter zichtbaar blijft. Het kastgedeelte voor de woofer is voorzien van een interne versteviging, die zo ontworpen is dat ook hier de luchtstroom achter de conus van de woofer zo min mogelijk wordt gehinderd. Net als in de bovenkast ook hier een bekleding van de wanden met loodbitumen en als akoestische demping een combinatie van pritex en schapenwol.



Figuur 4.
Foto achterkant kast

Het filter

Het omvangrijke scheidingsfilter heeft hier enkel de taak om de twee samenwerkende mid-woofers te laten aansluiten op de tweeter. Volgens de richtlijnen van Joseph d'Appolito dient de filtering een derde-orde, 18 dB/Okt, verloop te hebben, het schema laat zien dat hier exact aan voldaan is. Een weerstandsnetwerk is toegevoegd om het niveau van de tweeter iets te dempen zodat deze beter aansluit op beide mid-woofers.

Een selectie van compromisloze filtercomponenten is een logische keuze bij dit ontwerp. De Tritec spoelen, hier uitgevoerd met de dikst mogelijke draad voor de serie-spoelen, hebben hun kwaliteiten ruimschoots bewezen en ook de Audyn Cap Plus MKP condensatoren zijn naar verhouding zoveel beter dan "gewone" MKP's dat een vergelijking bij het luisteren onmiddelijk de verschillen blootlegt. Zelfs de weerstand in serie met de tweeter is geen doorsnee component. Deze folie-weerstand kan zelfs op een koelplaat worden gemonteerd en dan is de maximale belasting 10 W. Zonder koelplaat mag er maximaal 3 W gedissipeerd worden, in de praktijk zal dat niet eens gehaald worden, dus voldoet deze weerstand zelfs zonder koelplaat prima.

De overname tussen de topkast en de baskast wordt bepaald door het punt waarop de beide mid-woofertjes in hun gesloten behuizing aan de onderkant "afvallen". Het –3dB punt ligt daar op circa 80 Hz. De traploos instelbare elektronische cross-over op de Hypex DS 4.0 kan op dezelfde frequentie worden ingesteld, eventueel iets lager als er in de luisterruimte een veel voorkomende staande golf van ca 75Hz aanwezig is tussen vloer en plafond. De ingebouwde en eveneens traploos instelbare "boost" regeling kan de (sub)laag weergave naar smaak en kamer akoestiek aanpassen, indien nodig zelfs verschillend per kanaal. Zo is eigenlijk in iedere kamer een loepzuiver, gecontroleerd laag te verwezenlijken.

Luisteren

De meeste luidsprekers kun je neerzetten, een luidsprekerkabel aansluiten, apparatuur aanzetten en vervolgens luisteren maar. Dat heeft hier wat meer voeten in de aarde. Om zowel de topkast als de baskast optimaal aan te sturen is het gebruik van een versterker met een

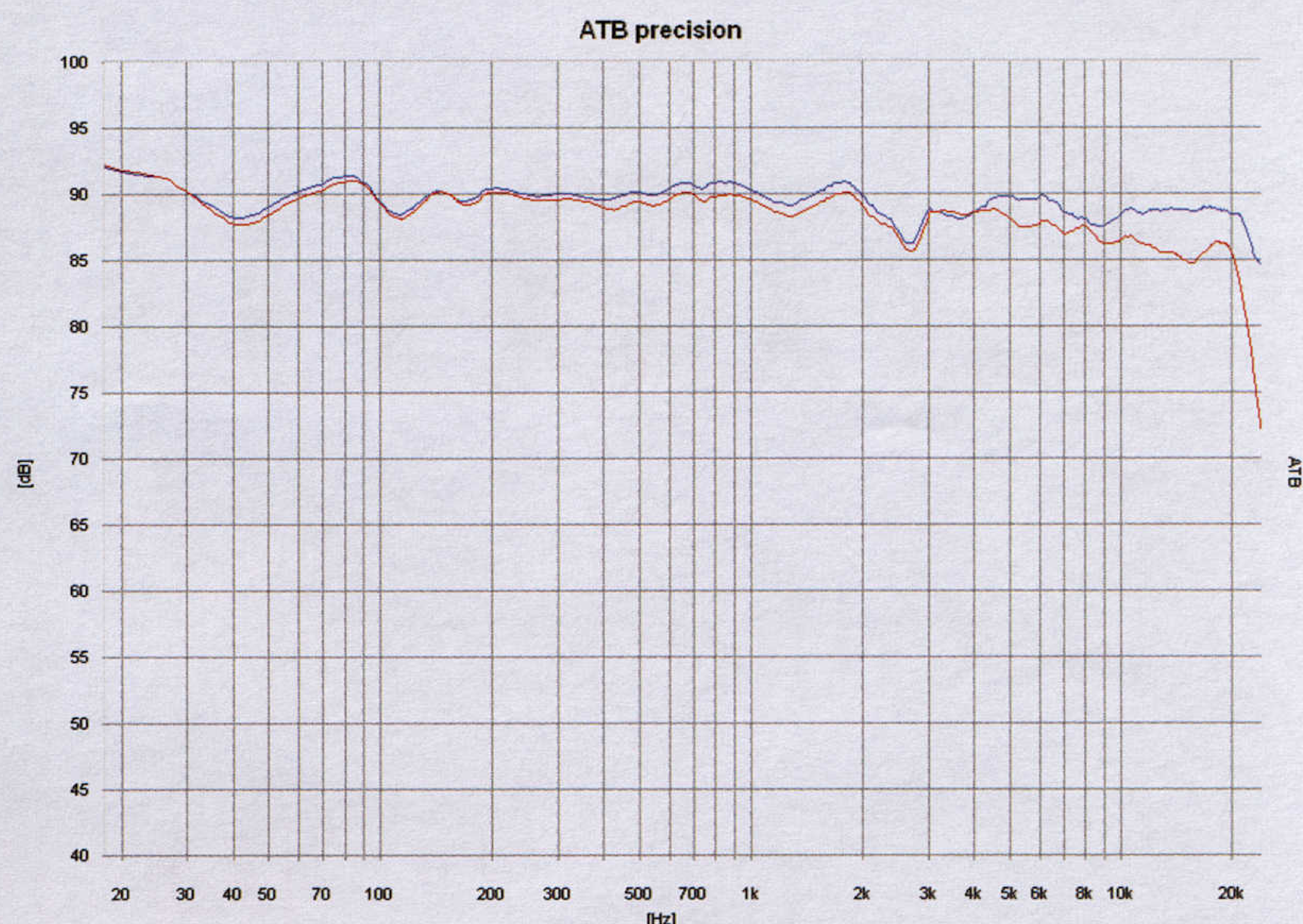
Ontwerp:	Ruud Jansen
Principe:	Gesloten kast
Tweeter:	ScanSpeak R2904/7000
Mid-woofers:	ScanSpeak 15W8530K00
Woofer:	ScanSpeak 23W4557T00
Sub-amp:	Hypex DS 4.0
Scheidingsfilter:	18dB/okt en aktief
Netto inhoud:	14 en 30 liter
Afmetingen:	500x240x340 (hxbxd, topkast)
	700x280x340 (hxbxd, baskast)
Belastbaarheid:	150 W
Rendement:	90dB (topkast)
Prijs bouwkit:	vanaf € 1850,-

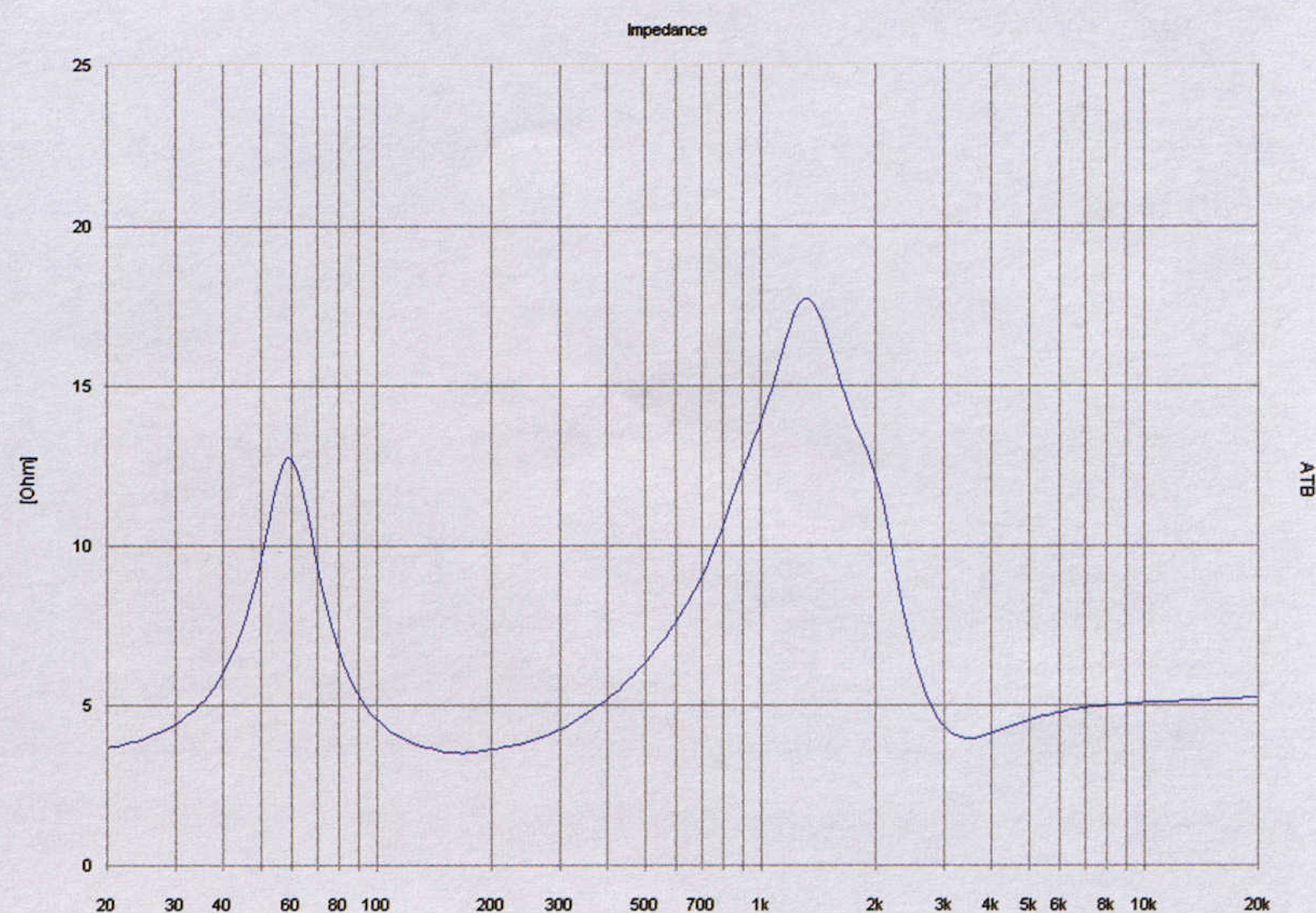
"pre-out" (volumegeregelde lijn-uitgang) of een gescheiden voor- en eindversterker nodig. De versterker uitgangen worden verbonden met de aansluitingen die op de afdekplaat van het filter zijn gemonteerd. Het gefilterde signaal wordt dan vanaf het filter met 2 kabels naar de aansluitingen op de topkast geleid. De Hypex DS 4.0 versterker wordt het liefst van signaal voorzien vanuit de voorversterker, bij voorkeur met een goede kwaliteit cinch kabel. Het is eventueel ook mogelijk om het signaal van de aansluitingen op de baskast af te tappen. Tot slot moeten beide versterkers ook nog van netspanning worden voorzien dus een stopcontact in de buurt van de luidspreker is handig.

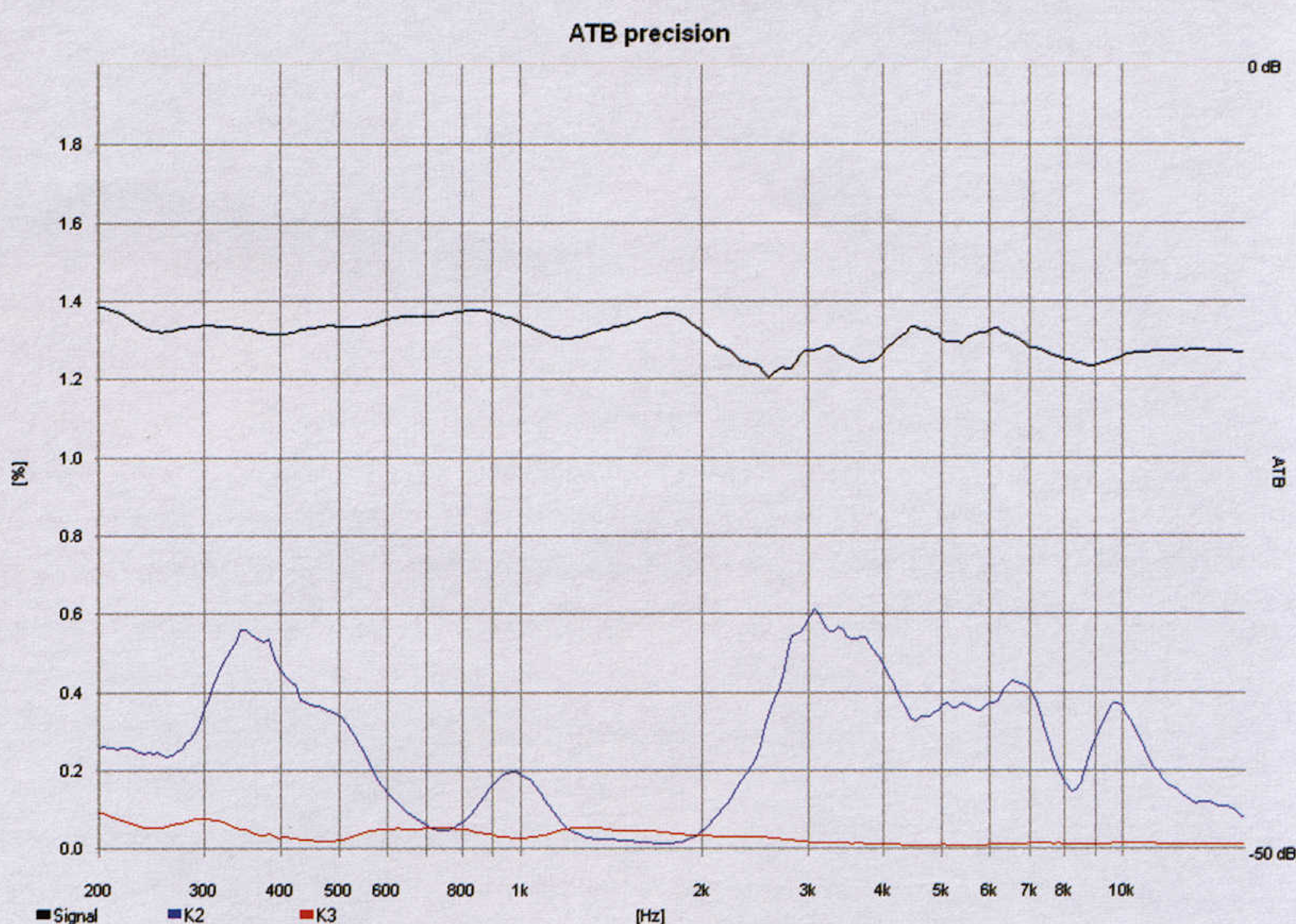
Het inregelen van het systeem is niet moeilijk, maar kost wel even wat tijd. Er zit namelijk veel verschil in het niveau van het laag in de verschillende opnames, en ook de kamer akoestiek en de persoonlijke voorkeur spelen uiteraard een rol. Als alles goed is ingesteld en de luidsprekers op de juiste manier zijn neergezet (zodanig dat ze gericht staan op de luisterplek of net hier achter kruisen) valt direct op dat er een zeer compleet beeld ontstaat van wat er in de opname aan informatie te horen is. Alles klinkt in het juiste perspectief, zonder dat er zaken opvallend naar voren worden gebracht. Het geheel blijft in de juiste proporties. Zeker bij muziek met wat meer dynamiek blijkt hoeveel ruimte deze luidsprekers kunnen weergeven Er treedt geen compressie of verkleuring op en er kan heel hard gespeeld worden zonder dat dit storend wordt. Zo omschreven lijkt het alsof het luisteren naar de Maxima een slaapverwekkende aangelegenheid is. Niets is minder waar, er is zoveel te horen dat het bijna onmogelijk wordt om niet van de muziek te genieten. De kwaliteitsbijdrage van het actief aangestuurde gesloten laag is ook duidelijk, ook bij complexe laagfragmenten blijft de definitie aanwezig en wordt het middengebied niet verbloemd.

Kosten

De kostprijs van de Maxima als bouwpakket is minimaal € 1850,- In deze prijs zijn alle componenten van het filter inclusief de Hypex DS 4.0 subwoofer versterker inbegrepen. Omdat de weergave van de Maxima voor een groot deel bepaald wordt door het toepassen van filtercomponenten van hoge kwaliteit wordt er geen "uitgeklede" versie aangeboden om de prijs omlaag te halen. Als je een Maxima bouwt of laat bouwen moet je het goed doen is het devies, maar uiteraard kan de zelfbouwer hier zelf invulling aan geven. Wel zijn er opties zoals upgrade van de interne kabels, een compleet MDF-houtpakket, nog mooiere aansluitingen zoals bijvoorbeeld van WBT en mooie dempers of kegels. Het systeem is op bestelling in bijna elke afwerking te verkrijgen vanaf € 3250,- per stuk.







Figuur 5. Frequentiekarakteristiek luidspreker
Figuur 6. Impedantiecurve luidspreker
Figuur 7. Vervorming K2 en K3

Gränna

Detailweergave op hoog niveau



DOOR LOUIS TIMMERS

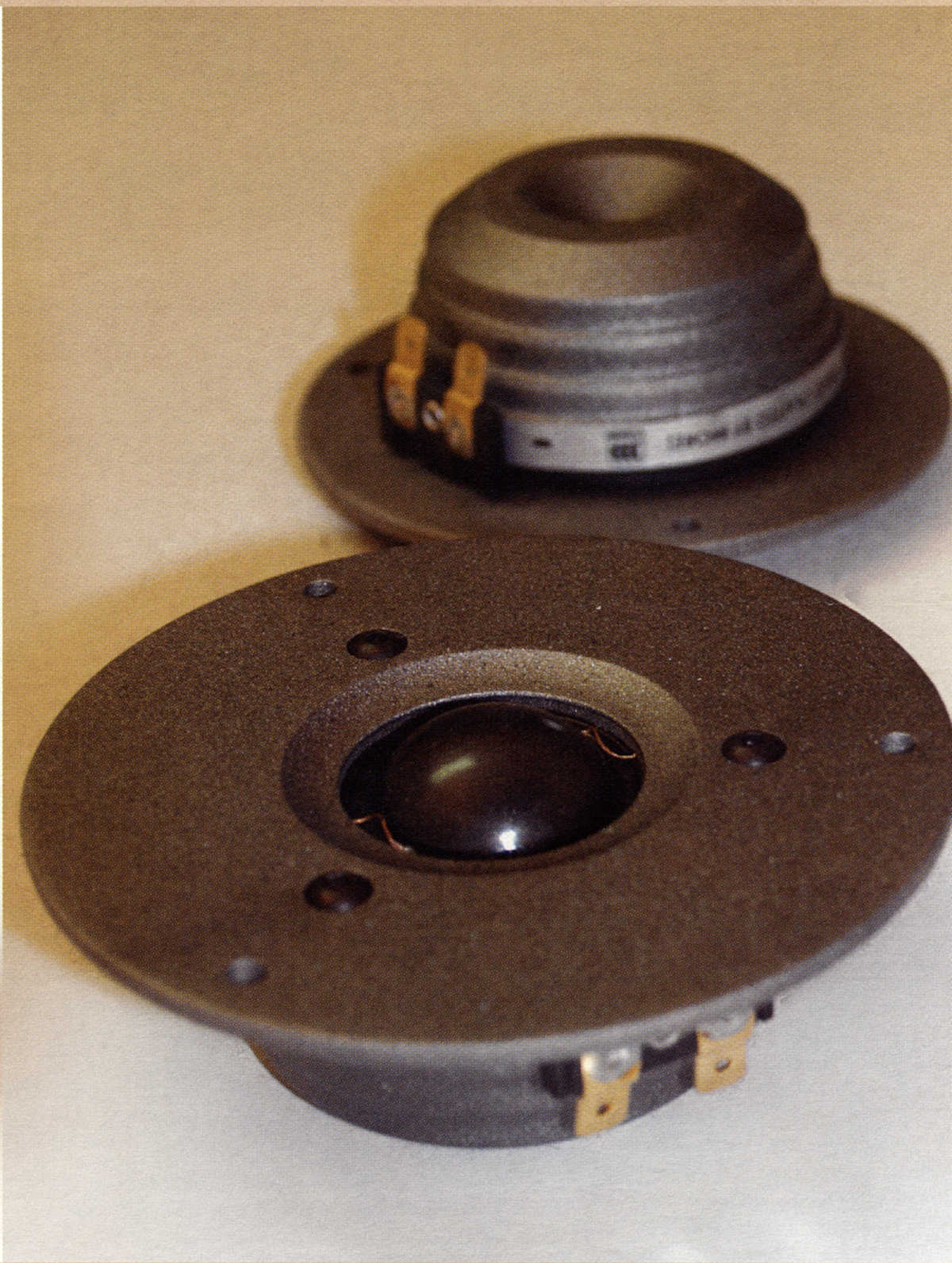
Het doel van de ontwikkeling van deze luidspreker was een zo goed mogelijke detailweergave met een minimale vervorming zodat deze luidspreker zelfs in te zetten is voor studiogebruik. Een flinke belastbaarheid werd bovendien gewenst omdat monitoring vaak op een flink volume plaatsvindt. Uiteraard misstaat deze luidspreker ook in de huiskamer niet als zeer detailrijke weergever met een hoge belastbaarheid.

Het is alweer lang geleden dat er een Morel luidsprekerontwerp in Elektuur werd beschreven. In de luidsprekerspecials van weleer zijn er ooit een tweetal ontwerpen verschenen, de Devon en de Kent, waarbij gebruik gemaakt werd van Morel drivers, maar daarna werd het stil rond dit merk. Morel wordt echter alweer vijf jaar vertegenwoordigd door Eltim audio BV, waaruit we mogen concluderen dat de leverbaarheid van Morel drivers geen probleem meer mag zijn; naar eigen zeggen hebben ze alle in productie zijnde modellen ruim op voorraad. Velen kennen (bewust of onbewust) het specifieke, rustige karakter van de Morel tweeters; deze tweeters worden namelijk in diverse commerciële luidsprekers toegepast. Zo is de Morel MDT-32s een tweeter die regelmatig gebruikt wordt. Omdat wij het onderste uit de kan wilden halen, besloten voor dit ontwerp de beste drivers van Morel in te zetten.

Drivers

Velen kennen waarschijnlijk de Morel MDT-33, een tweeter die inmiddels alweer dertig jaar bestaat en nog steeds geldt als één van de referentie tweeters op de markt. Sinds enkele jaren wordt deze tweeter voorbij gestreefd door de Morel Supreme tweeters. Ook deze tweeters zijn voorzien van een 28-mm zijden dome, handmatig gecoat met Acuflex, een gepatenteerde soepele substantie met als doel "dome break-up" verschijnselen tot een minimum te beperken. Daarom kennen Morel tweeters, ondanks het grote formaat van de dome, dit vervelende fenomeen bijna niet en laat de frequentie karakteristiek een verloop zien zonder ernstige pieken of dalen. Ook de aandrijving met een aluminium spreekspoel van dezelfde diameter als de dome bevordert de goede eigenschappen van deze tweeters. Het unieke "Hexatech" draad zorgt voor een hoge belastbaarheid. Bij de hier toegepaste Supreme 110 is de belastbaarheid zelfs 120 Wrms bij 6dB/okt. en 220 Wrms bij 12dB/okt. filterhellingen. De Supreme 110 tweeter maakt gebruik van een nieuwe ontwikkeling, die bekend staat als het "underhung" principe. Daarbij is de magneet niet om, maar achter de spreekspoel geplaatst, waardoor de dome een zeer grote bewegingsvrijheid heeft. Gevolg is dat het frequentiebereik ver naar onderen doorloopt en de tweeter al vanaf 1400Hz ingezet kan worden, zelfs met een filterhelling van slechts 6dB/okt. De ruimte achter de dome kan zo ook groter en optimaal gedempt worden. Een nadeel is echter dat er





Figuur 1. Foto van de losse drivers, voor en achterkant

een flinterdunne Neodymium magneet moet worden ingezet wat een dergelijke magneet nogal kostbaar maakt. Morel woofers kwamen we in 't verleden niet al te vaak tegen in commerciële ontwerpen, al zien we ze tegenwoordig wel steeds vaker verschijnen in diverse luidsprekers. Voor dit ontwerp is gekozen voor een kwalitatief zeer hoogwaardige 16-cm driver, wat resulteerde in toepassing van de MW-167. Deze driver ziet er identiek uit als de MW-166/168, echter de aandrijving is een flink stuk complexer. Morel noemt deze aandrijving de "Neolin" aandrijving. In plaats van één of twee grote magneten te plaatsen werden in dit model vijf schijfvormige neodymium magneten in een ring gemonteerd. Dit resulteert in een lagere Q-factor en een betere koeling van het magneetsysteem en de spreekspoel. Uiteraard is, zoals bij bijna alle Morel woofers, dit magneetsysteem binnen de extreem grote (75-mm) aluminium "Hexatech" spreekspoel gemonteerd. Een koperen kortsluitring beperkt de tegen-EMK van de aandrijving aanzienlijk en geeft de woofer een gladder impedantie verloop. Dit, in combinatie met de overige karakteristieke Morel kenmerken, resulteert in een veel snellere, meer dynamische weergave en een beter lineair gedrag ten opzichte van conventionele woofers, vooral op erg lage en hoge volumes. In overleg en samenwerking met Eltim is deze woofer voorzien van een modern aluminium chassis. Dit "Uniflow" chassis laat de woofer nog beter ademen waardoor de belastbaarheid toeneemt en de laagweergave wordt verbeterd.

Een nadeel is dat in dit chassis de spreekspoel zichtbaar en dus kwetsbaar is. Rondslingerende houtsnippers, stof, dempingmateriaal etc. kunnen de woofer daarom onherstelbaar beschadigen, opletten dus bij de inbouw dat er niks in de kast achterblijft.

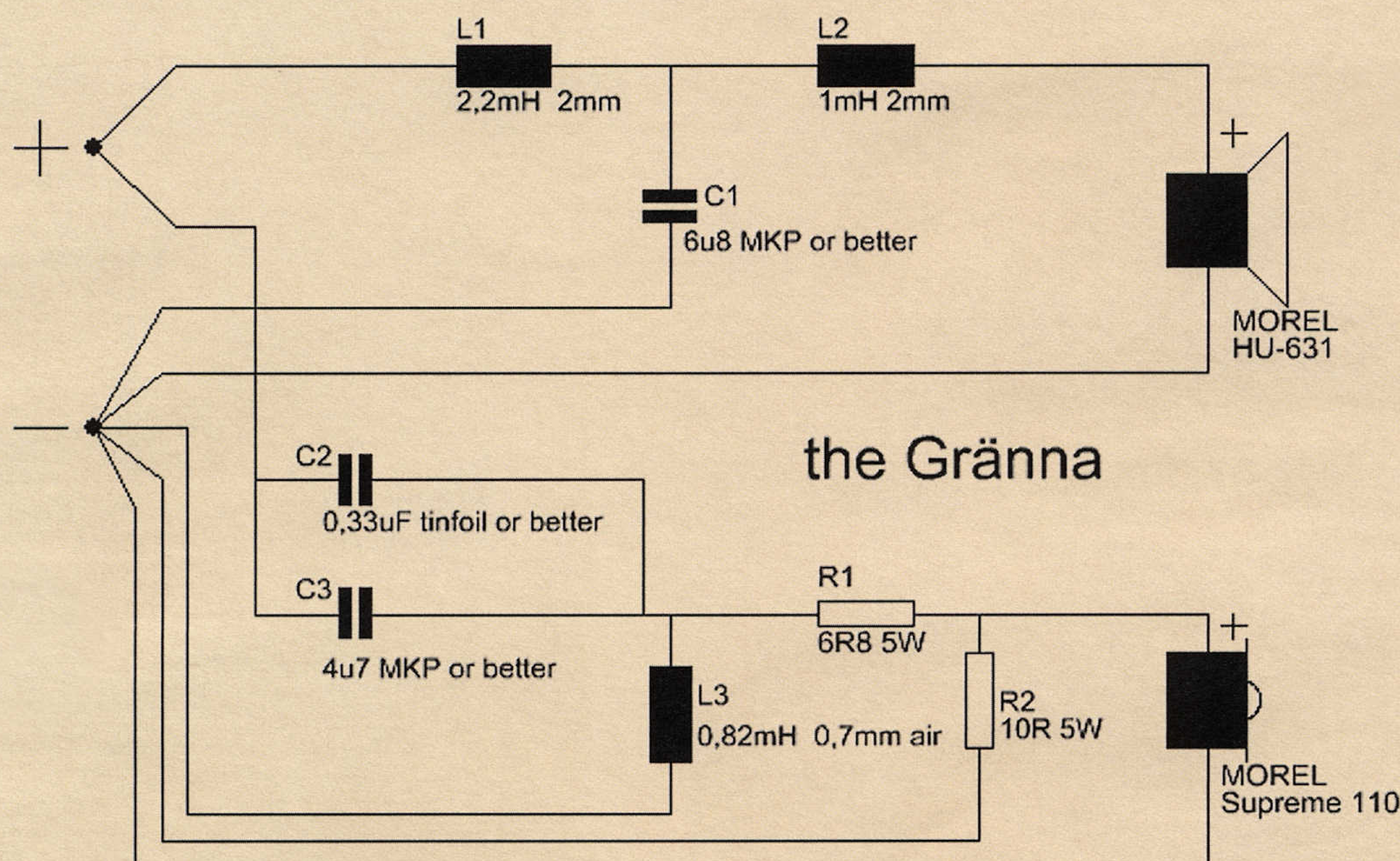
Het filter

Voor het filteren van MW-167 midwoofer is gekozen voor een derde orde laagdoorlaat filter bestaande uit L2/C3/L3. Voor de spoelen is gekozen voor koperen foliespoelen in combinatie met een standaard MKP-condensator. Een impedantie correctie van de midwoofer is niet nodig omdat een stijgende impedantie met de frequentie al bij de bron middels het "Neolin" systeem is aangepakt. Het tweede orde hoogdoorlaat filter bestaat uit een combinatie van C1/C2 met L1. Voor de condensatoren zijn diverse MKP types te gebruiken met allen een verschillend karakter, zo kunt u de hoogweergave naar smaak aanpassen, de hier voorgestelde types zijn slechts één mogelijkheid. L1 kan een luchtspoel zijn, maar dient wel van goede kwaliteit te zijn. Eventueel kan hier ook een kleine foliespoel gebruikt worden. R1/R2 dienen tenslotte om het rendement van de tweeter op het niveau van de woofer te brengen.

De behuizing

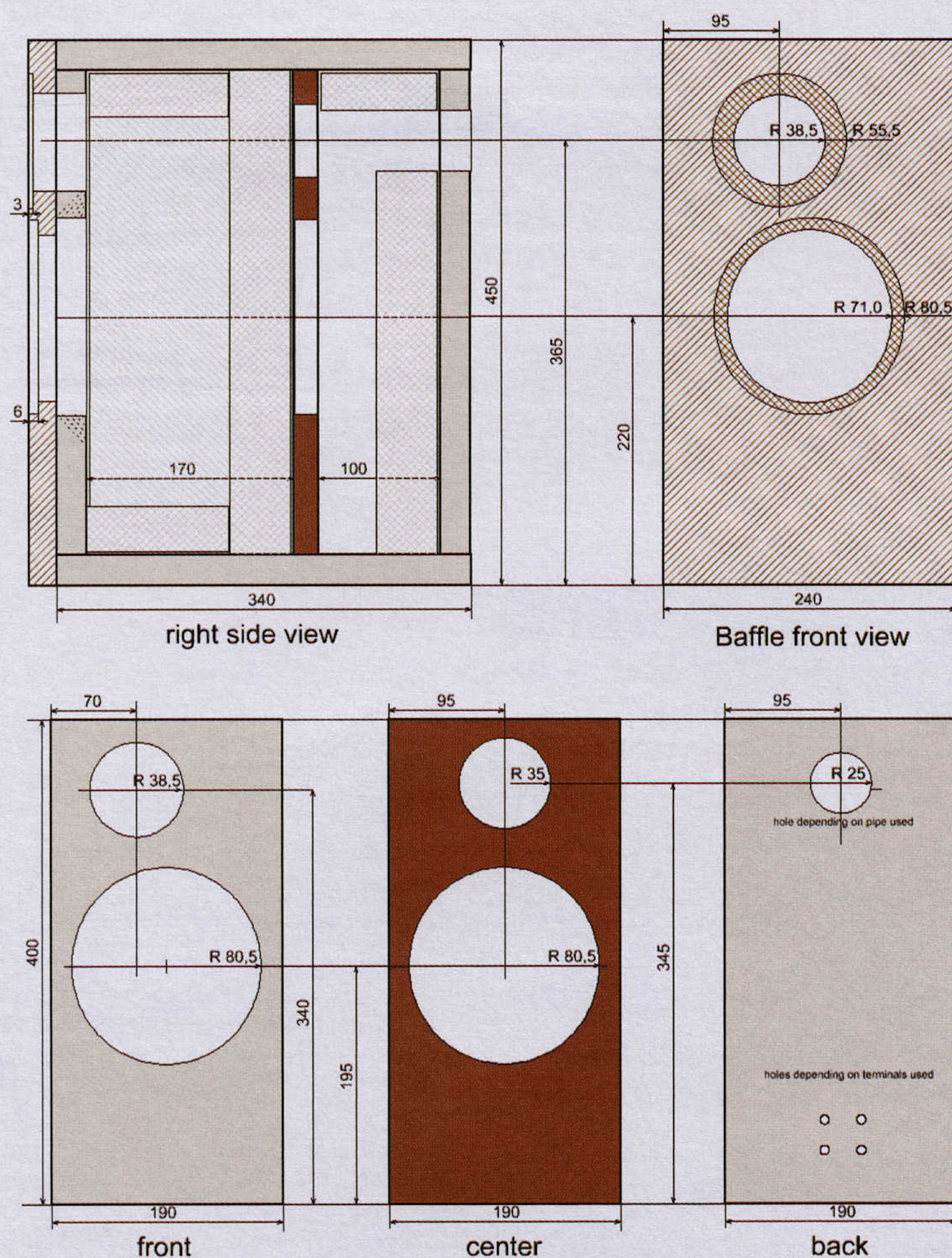
Omwille van de vereiste stijfheid, is gekozen voor 25-mm dik MDF, iets dikker dan het 22-mm MDF dat normaal gebruikelijk is. Zoals ook te zien bij eerdere Morel ontwerpen plaatsen we de tweeters uit het midden, omwille van een bredere afstraling. Beide drivers worden

Figuur 2.
Filterschema



in een separaat frontpaneel gemonteerd bij voorkeur gemaakt van een afwijkend materiaal. Dit oogt niet alleen fraai, ook kan het front aanzienlijk dikker en derhalve steviger gemaakt worden. Wij kozen voor een fraai hardhouten paneel, maar uiteraard staat het de zelfbouwer vrij hier zelf invulling aan te geven. Een andere optie is uit te gaan van MDF en dit te bespannen met luidsprekerdoek of een ander soort stof, alhoewel dit toch in geringe mate invloed heeft op de weergave.

Figuur 3.
Bouwtekening kast



Het totale frontpaneel wordt dermate dik dat de midwoofer enigszins wordt opgesloten en hierdoor beperken we de bewegingsvrijheid van de conus, immers de luchtcirculatie wordt gehinderd. Op de bouwtekening is daarom goed te zien dat het tussenpaneel een uitsparing heeft die groter is dan het montagegat van de midwoofer, zodoende komt de bewegingvrijheid van de mid-woofer niet in het gedrang. U kunt de kast het beste met constructiekit verlijmen. Deze lijm zet uit bij uitharding en dicht zodoende zelfs de kleinste kieren en gaten goed af en is na droging zelfs sterker dan MDF. Strijk de lijm zo dun mogelijk op beide te verwerken delen en verwijder de schuimachtige resten pas als de lijm is uitgehard. Dit gaat prima door met grof (korrel 60-80) schuurpapier voorzichtig over de lijmresten te schuren. Een mes is minder geschikt omdat kleine beschadigingen aan het MDF naderhand lastig weer weg te werken zijn. Het beste gebruikt U overigens constructielijm uit de bekende tubes die middels een spuitpistool perfect te doseren is. De dun vloeibare constructie lijm in de gele knijpbusjes is veel te vloeibaar en druipt enorm waardoor het lastig is netjes te werken.

De basreflex poort

Bij deze luidspreker hebben we de basreflex poort aan de achterzijde geplaatst. Een luidspreker als deze wordt meestal vrijstaand op een standaard geplaatst waardoor een basreflex poort aan de achterzijde normaliter geen probleem zal geven. Als basreflex poort kunt U een standaard poort nemen met een diameter van 50-mm en een lengte van 105-mm. Ook kunt U een dikwandige PVC pijp in de achterwand lijmen en daarna met een bovenfrees een afronding maken. Dit ziet er na het afwerken erg fraai en professioneel uit. Een nadeel van de montage van de basreflex poort aan de achterzijde is echter dat de luidspreker niet te dicht tegen een wand geplaatst kan worden en er even geëxperimenteerd dient te worden met de juiste opstelling.

Ontwerp:	Ludvig Sjöholm, Streaming Audio Sweden
Principe:	basreflex kast
Tweeter:	Morel Supreme 110
Mid-woofer:	Morel MW-167 Uniflow
Scheidingsfilter:	18dB/12dB/okt
Netto inhoud:	20 liter
Afmetingen:	450x240x340-mm (hxbxd)
Belastbaarheid:	200 Wrms, 1000W/10ms
Rendement:	88dB/1W/1m
Prijs bouwkit:	€ 750,- per speaker (drivers + scheidingsfilter)
Prijs houtpakket:	€ 250,- per speaker (afhankelijk van gekozen materialen)
Importeur:	http://www.eltimaudio.com



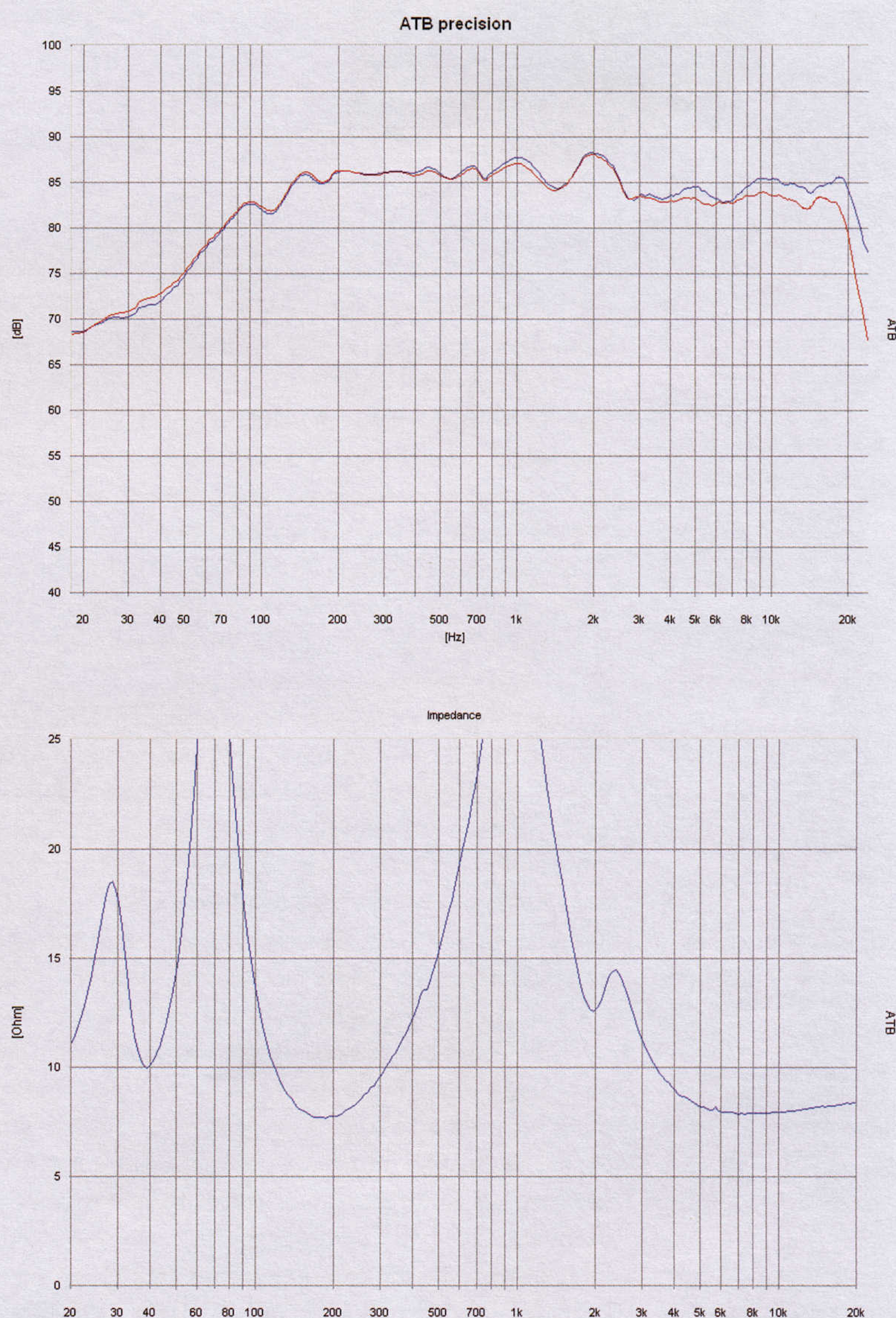
Figuur 4. **Foto achterkant kast**

De demping

Allereerst nogmaals een waarschuwing: de spreekspoel van de woofer is niet afgeschermd en daardoor kwetsbaar voor rondslingerende houtsnippers, stof, dempingmateriaal etc. Zorg daarom dat vóór het monteren van de drivers de kast helemaal schoon en stofvrij is om onherstelbare beschadiging aan de spreekspoel te voorkomen. Beter een keer te vaak stofzuigen dan te weinig. Om deze reden mag er ook geen glas- of steenwol als demping gebruikt worden. In de loop der tijd laten bij deze materialen namelijk vezels los en is er het risico dat deze vast komen te zitten in de spreekspoel. In dit geval is BAF, de bekende witte synthetische wol, prima geschikt als dempingsmateriaal. Het dempingsmateriaal wordt gemonteerd volgens de bouwtekening tegen de achterwand, voor het tussenschot en langs de zijkanten. Overigens blijft experimenteren met andere materialen altijd interessant en kan de weergave op die manier aan de wensen aangepast worden.

Luisterervaringen

Dit systeem is niet alleen door de bouwer en de importeur beoordeeld, het is ook op een luisteravond van de Audio Vereniging Midden Nederland (www.avmn.nl) gedemonstreerd waar onder andere de volgende opmerkingen genoteerd werden: “dit is voor het eerst sinds we bestaan dat we muziek in vol ornaat zonder techniek horen, ik “zie” echt geen luidsprekers”, “wat een diepte en dat in zo’n slechte ruimte”, “wat een dynamiek”. Deze opmerkingen kwamen van circa veertig kritische luisteraars van de audio vereniging. In ieder geval valt in positieve zin de extreem gedetailleerde weergave van de tweeter en de opvallend diepe en snelle laagweergave van de 16 cm. woofer op. Daarnaast is het systeem ontzettend hoog te belasten zonder een krimp te geven. Maar ook op achtergrondniveau blijven alle instrumenten keurig aanwezig en op hun plaats. Indien er geëxperimenteerd wordt met de opstelling en de luidsprekers optimaal geplaatst worden zullen in de meeste gevallen de speakers volledig “verdwijnen” en er een enorme ruimte ontstaan.



Figuur 5. **Frequentiekarakteristiek luidspreker**
Figuur 6. **Impedantiecurve luidspreker**



Speaker & Co Mini-Reference

Klein maar fijn

DOOR TITUS NISSEN

Een kast van bescheiden formaat met behoud van een referentie klasse weergave was de eis die werd gesteld aan het ontwerp van de Mini Reference. Daar bovenop een huiskamer vriendelijke vorm en een betaalbare prijs. Dat vergt heel wat creativiteit van de ontwerper.

Om aan de vraag van muziekliefhebbers te voldoen die geen mogelijkheid hebben om forse vloerstaanders van een meter of hoger neer te zetten, of die liever geen stands toepassen, heeft Titus Nissen van Speaker & Co in Haarlem de mogelijk bekende Reference Plus naar een bescheidener afmeting teruggebracht. Uitgangspunten van het nieuwe ontwerp waren een totale hoogte van ongeveer 80-cm met een smalle baffle geschikt voor 15-cm units. Een conventionele dome tweeter van hoge kwaliteit en een diep doorlopende basweergave ondanks een relatief geringe kastinhoud van 26-liter netto. Om de beperkte hoogte voor het afstralen van het geluid te compenseren naar de luisterplek toe helt de kast 7-graden achterover. Een kast met afmetingen van (HxBxD) 80 x 19,2 x 30 cm bleek voldoende om twee ScanSpeak 15-cm units te huisvesten die in de allerlaagste regionen samenwerken. Om het laag voldoende body te geven en het rendement te bewaren is gekozen voor een basreflex kast. In de kast is de laagweergave onzichtbaar afgestemd door een Briggs filter tussen de twee 15-cm units aan te brengen waarover later meer. Doordat de tweeter een eigen gesloten behuizing heeft is het niet nodig die onder te brengen is een separaat compartiment. Bewust is gekozen voor een 1" dome van ScanSpeak, omdat een dome een beter afstraalgedrag heeft voor stereo weergave dan de ringradiator van het zelfde merk. Dat het frequentiebereik boven de 20KHz minder ver doorloopt is een consequentie die op de koop toe is genomen. Heel bewust heeft Titus Nissen gekozen voor een geoptimaliseerde stereo weergever die zowel in de standaard vorm als met een high-end scheidingsfilter het op kan nemen tegen klant en klare systemen waarvoor een veelvoud wordt gevraagd en doorgaans betaald.

Eén merk in een doordachte behuizing

ScanSpeak units zijn genoegzaam bekend onder de zelfbouwers. Niet in de laatste plaats door de hoge kwaliteit van de units die is gekoppeld aan de innovatie die ScanSpeak ten toon spreidt. Samen met de consistente betrouwbaarheid bepalen die eigenschappen niet alleen voor veel zelfbouwers maar eveneens voor veel fabrikanten de keuze voor het merk. Voor toepassing in zijn smalle front maakt de Mini Reference gebruik van een tweetal 5¹/₄" midden/basweergevers type 15W/8530K00. De conus van de unit is tegen opbreken bewerkt door in de conus insnijdingen te maken die schuin over de conus lopen. De insnijdingen zijn afgeplakt met ander conusmateriaal en daarna is het geheel, conus en relatief grote stofkap, voorzien van een zwarte coating. De ophanging is een "low loss" rubber rand die de conus soepel laat bewegen met minimale mechanische verliezen. Verliezen die verder beperkt zijn door toepassing van een open spreekspoel (bovendien gunstig voor de warmte afgifte) en door de vorm van de gegoten korf. De conus volgt de "Nawi" vorm, een gebogen vorm die een beter afstraalgedrag heeft dan een rechte conus. De korf









Figuur 1. Foto van de twee losse drivers, voor en achterkant

is zoveel mogelijk open tot aan de magneet van de unit. Inbouw van de unit in een te dikke baffle zou veel goede eigenschappen teniet doen, de open weergever raakt dan opgesloten. Reden dat voor de Mini Reference is gekozen voor een 25-mm MDF plaat. De magneet met doorboorde poolkern is ongeveer net zo groot als het totale conusoppervlak. Met zijn impedantie van 8-Ohm nominaal, gevoeligheid van 85,5dB en een belastbaarheid van 60-Watt is het een unit die een versterker verlangt met enige stroomreserve. Door twee units parallel toe te passen zakt de systeem impedantie tot 4-Ohm, wat gelijk de minimale waarde is zoals de meting laat zien. Boven de 200Hz komt de impedantie nergens onder een versterker vriendelijke waarde van 5-Ohm en ligt rond 1KHz zelfs op 10-Ohm.

Voor de hoogweergave is gekozen voor een Scanspeak Revelator 1" tweeter, type D2904/710003. Deze dome tweeter is voorzien van een soft-dome, dwz. gemaakt van geïmpregneerd textiel. Naast het feit dat de afstraling van een dome superieur is aan een ringradiator speelt ook de prijsstelling van de unit een belangrijke rol. Een ringradiator is aanzienlijk duurder in aanschaf. Opvallend kenmerk van deze tweeter is, naast het neodymium magneet systeem, een gesloten behuizing die aan de achterkant is voorzien van meerdere luchtkamers in een trapezium vorm. De kamers beperken door hun vorm compressie door het bewegen van de conus van de tweeter tot een minimum. Bovendien maakt de gesloten behuizing een eigen tweeter compartiment in de kast overbodig. De frequentie meting aan de tweeter laat zien dat de meest vlakke weergave bereikt wordt op de luisteras.

De behuizing van de Mini Reference is, zoals al eerder genoemd, een basreflex kast. Een pijp met een diameter van 50-mm en een lengte van 145-mm zorgt met de serieweerstanden van de basspoelen en de inhoud van de kast voor de afstemming. De twee woofers zijn van elkaar gescheiden door een Briggs filter met zes openingen van 50-mm. Het Briggs filter werkt als een mechanische rem en onderdrukt staande golven in de kast. Door de "rem werking" groter of kleiner te maken, dat wil zeggen de gaten meer of minder af te dekken met dempingmateriaal, kan de laagweergave beïnvloed worden. Hoe meer de gaten gesloten worden, des te minder laag energie er vrijkomt. De basweergave is bovendien te beperken door de reflexpoort geheel of gedeeltelijk te vullen met dempend materiaal. De kast is met een wanddikte van 25-mm en het Briggs filter dat als brace werkt al behoorlijk stijf. Toch koos Titus Nissen voor verdere versteviging in de vorm van drie stuks rondhout van zijwand naar zijwand. Speaker & Co levert desgewenst een houtpakket met alle infrezingen en afgeschuinde kanten. Een aan te raden optie in verband met de schuine vorm van de kast.

De afwerking van de kast is uiteraard geheel vrij naar keuze voor de zelfbouwer. Om de kast inwendig te dempen zijn alle wanden bekleed met Pritex tandenschuim. Het Briggs filter is aan één kant beplakt met Pritex. Een tweede laag kan door de zelfbouwer worden aangebracht aan de andere kant van dit mechanische filter om het laag verder te beperken. Het compartiment achter de bovenste woofer is losjes gevuld met Dr. Bailey's Long Hair schapenwol.

Figuur 1.
Filterschema

Scheidingsfilter

Bij de ontwikkeling van het filter is als uitgangspunt genomen dat het te realiseren 2,5-weg systeem een uitstekende impulsweergave moest hebben, een lage vervorming en daarnaast een correct fase gedrag. De twee woofers werken maar over een beperkt gebied samen met elkaar. De onderste woofer is uitsluitend toegepast om de laagweergave naar beneden te vergroten en niet zo zeer om het systeem hoger belastbaar te maken of het rendement te verhogen. De scheidingsfrequentie van 100Hz is gekozen juist om het fase gedrag goed te houden in de lage regionen. Een hoge scheidingsfrequentie voor de bovenste woofer en tweeter van 2,7KHz zorgt dat de tweeter hoog belastbaar is met een minimale vervorming. Het steile filter maakt dat op de eigen resonantie frequentie van de tweeter geen energie beschikbaar is. Dat de woofer ver kan doorlopen, te danken aan de 5¼" conus diameter, maakt dat in het belangrijke middengebied voornamelijk één unit het werk doet. De onderste woofer heeft bij de lage scheidingsfrequentie van 100Hz een afval van 6 dB/octaaf. Een enkele kernspoel (HQ-58) van 8,2 mH in serie met de onderste woofer is daarvoor voldoende. De bovenste woofer is rond de 2,7kHz gefilterd met een 12 dB/octaaf filter. Door de mechanische eigenschappen van de woofer gedraagt het filter zich akoestisch als een derde orde filter.

Figuur 2.
Bouwtekening kast

In serie met de bovenste woofer is een luchtspoel opgenomen van 1,20 mH met een koperdraaddikte van 1-mm. Een 12 uF MKP condensator over de woofer maakt de midden sectie compleet. De filtering op de tweeter is een elektrisch derde orde filter, dat met 18 dB/octaaf afvalt. In serie met de tweeter staan een 6,80 uF en een 15.0 uF Audyn-Cap Polypropyleen (MKP) condensator. Parallel over de tweeter staat een 0,22 mH spoel gewikkeld met 0,71-mm koperdraad. Om het rendement van de tweeter aan te passen aan de beide woofers zijn metaalfilm weerstanden in serie en parallel opgenomen van 2,7 en 4,7-Ohm. De 4,7-Ohm weerstand die parallel aan de tweeter te vinden is zorgt daarbij voor een demping van de tweeter die door veel luisteraars wordt geprefereerd. Het hierboven beschreven standaard filter kan naar een high-end versie worden opgewaardeerd door toepassing van Tritec spoelen op de laag sectie en het opnemen van Audyn Cap Plus MKP condensatoren in de hoog sectie van het filter circuit. De meerprijs voor het high end filter is circa 75-euro per kant.

Het standaard filter is gemakkelijk op een print te bouwen die een plekje vindt tegen een zijwand van de behuizing. Het high-end filter is te groot voor een print en moet hard-wired worden opgebouwd. De aansluiting naar buiten van het filter is via een bi-wire terminal aan de achterzijde van de kast. Omdat het systeem een minimale impedantie heeft van 4 Ohm en een rendement van 86 dB/1 Watt/1 meter raden wij een transistor versterker van minimaal 25-Watt per kanaal aan. Als een buizenversterker wordt toegepast is het raadzaam het filter daarop aan te passen met een paar LCR-kringen zodat een recht impedantieverloop ontstaat. Met oog op de hoge weergave kwaliteit van het systeem is een hoogwaardige versterker met een goede tot zeer goede bron op zijn plaats. Daarnaast is een versterker te

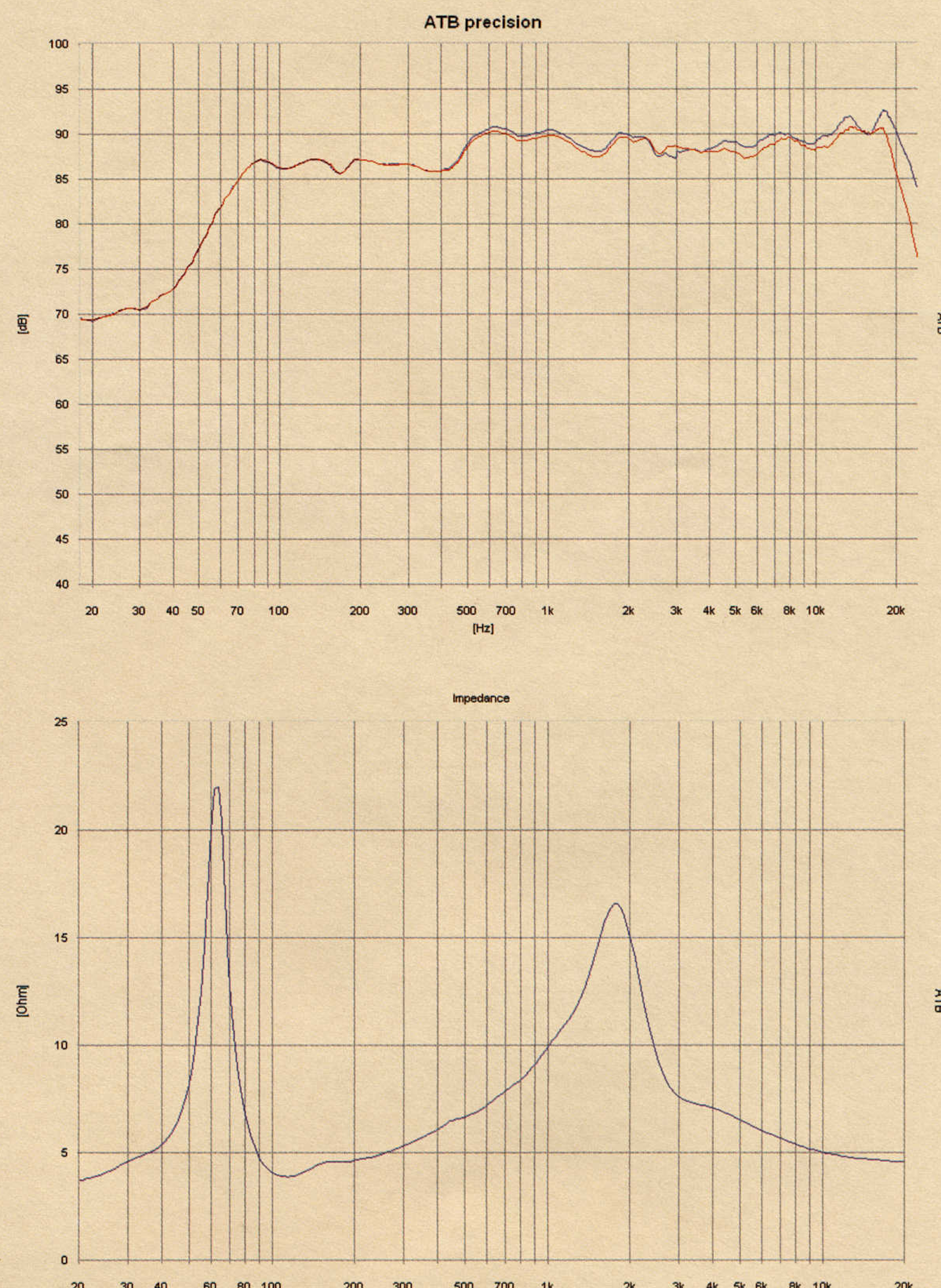
prefereren die in staat is zowel voldoende stroom als spanning te leveren. De Mini Reference stelt desondanks geen extreme eisen aan apparatuur.

Resultaat

De hedendaagse zelfbouwer is niet langer geïnteresseerd in "low cost, low quality" oplossingen maar vraagt naar kwalitatief hoogwaardige weergevers. De trend naar kleiner, onopvallender en passend in het interieur zet verder door. Maar men wil eigenlijk geen concessies doen aan het geluid. Toch is dat vrijwel onontkoombaar en slechts op te lossen door te investeren in zeer goede units, een mooi opgebouwd filter en een optimale behuizing, het resultaat kan dan zeer muzikaal zijn.

Tijdens de ontwikkeling van de Mini Reference is gebruik gemaakt van diverse simulatie software o.a Netcalc en SpeakerWorkshop en zijn veel metingen verricht, maar het belangrijkste was het luisteren naar het systeem en het tunen ervan. Rekening is gehouden met hedendaagse eisen als een licht aangezet hoog teneinde een detailrijke weergave mogelijk te maken. Het kan niet genoeg benadrukt worden dat het kiezen van een luidspreker alleen goed kan geschieden door het systeem uitvoerig te beluisteren. Ook als het gaat om een bouwpakket. De diverse winkels in Nederland die bouwpakketten leveren geven daartoe de gelegenheid. Zelf luisteren en zelf kiezen voorkomt kostbare vergissingen. Bij voorkeur luistert u in de winkel naar uw eigen meegenomen muziek.

Om toch alvast een indruk te geven waartoe de Speaker & Co Mini Reference in staat is een selectie gedraaid van klassieke, pop en jazz muziek, bestaande uit onder meer Vivaldi, Dead Can Dance, Tanita Tikaram en Rachelle Ferrell. Met klassieke muziek valt op op welk hoog niveau de detailweergave staat. Een viool laat met gemak elk facet van zijn klank horen op een neutrale wijze. Het stereobeeld is groot genoeg om een orkest neer te zetten in de huiskamer. De laagweergave is gecontroleerd, loopt ver door naar beneden en vormt een correct fundament voor de hogere frequenties. De afstemming doet wat Engels aan, vooral rustig, onopvallend en zonder uitschieters. Met als gevolg dat lang naar het systeem luisteren een genot is en geen irritatie opwekt. De scheiding tussen de diverse orkestleden is gemakkelijk te beluisteren. Diepte in het stereobeeld is zeker aanwezig. Popmuziek kan, als dat op de CD is opgenomen, een fors laag neerzetten zonder vervorming of compressie. Hoge tonen zijn duidelijk aanwezig, het middengebied is licht terughoudend. Eigenschappen die bewust gekozen zijn naar aanleiding van luisteraars die de prototypes beluisteren en gevraagd werden commentaar te leveren. Drums zijn vol energie en stevig. CD's met nadruk op ruimtelijke weergave doen het bijzonder goed op de Mini Reference en laten het stereobeeld in alle drie de dimensies groeien tot ver buiten de luidsprekers zelf. Jazzy stemmen krijgen ruimte voor nuances. Piano is helder, puntig en transparant. Basloopjes zijn tot in de finesses te volgen. Met percussie hebben noch de ScanSpeak tweeter noch de beide ScanSpeak woofers enige moeite. Het totaal resultaat is een evenwichtige weergever die met zeer weinig kleuring en eigen geluid een weergave op hoog niveau mogelijk maakt binnen de beperking van de behuizing. De weergever accepteert alle soorten muziek en als er al sprake is van enige voorkeur dan gaat die in de richting van de weergave van klassieke muziek. Misschien wat minder voor jazz, uitermate goed voor popmuziek in de betere genres. Veel en langdurig luistergenot heeft voorop gestaan in dit ontwerp en daarin is Titus Nissen van Speaker & Co Haarlem uitstekend geslaagd.



Figuur 3a. Frequentiekarakteristiek luidspreker
Figuur 3b. Impedantiecurve luidspreker

Naam:	Speaker & Co Mini Reference
Principe:	2,5 weg basreflex-systeem met Briggs filter
Ontwerp:	Titus Nissen
Woofers:	15W/8530K00
Tweeter:	D2904/710003
Scheidingsfilter:	Scheidingsfrequentie 100 en 2700Hz 1[st] orde (6dB/Oktaaf) en 3[de] orde Hoogfilter (18dB/Oktaaf).
Afmetingen:	(HxBxD) 80 cm x 19,2 x 30 cm
Netto inhoud:	26 liter
Belastbaarheid:	120 Watt
Prijs bouwpakket:	€ 715,-per stuk (drivers + scheidingsfilter)
Prijs houtpakket:	€ 130,- per stuk
Rendement:	SPL 88,5 dB 1W/1m
Demping:	Pritex noppenschuim en MDM-3



ScanSpeak Reference Monitor SE

Een legende herleeft

DOOR ROLPH SMULDERS

Dik tien jaar geleden verscheen de eerste Reference Monitor, een high-end tweeweg-systeem met inmiddels legendarische units van ScanSpeak. Evenals deze drivers werd de Reference Monitor ook bijna een legende, dankzij zijn uitstekende klankkwaliteiten. Het ontwerp wordt na al die jaren in vrijwel ongewijzigde vorm nog steeds verkocht en kent een grote schare liefhebbers.

De ontwikkelingen staan in de luidsprekerwereld echter niet stil en met de komst van nieuwe units is ook het moment aangebroken om deze luidspreker nieuw leven in te blazen. De opvolger draagt een naam die duidelijk naar zijn voorganger verwijst: Reference Monitor SE. Toen de Nederlandse importeur van ScanSpeak, Rolph Smulders, in 1996 bij Elektuur kwam aanzetten met een luidsprekerontwerp dat twee peperdure luidsprekerunits bevatte, had hij er zeker nog geen idee van dat dit één van zijn succesvolste luidsprekerontwerpen ooit zou worden. Smulders had al heel wat ontwerpen op zijn naam staan, want als voormalig luidsprekerontwerper bij een bekende Duitse fabrikant had hij er plezier in om regelmatig luidsprekers te ontwerpen met nieuwe units uit het programma van fabrikanten waarvan hij zelf importeur is.

Het ontwerpen van een topklasse-luidspreker is echter niet alleen een kwestie van veel kennis, goede luidspreker-units en veel, heel veel, testen en luisteren. Nee, één keer in de zoveel jaar lukt het je een ontwerp te maken dat "het heeft". Niet alleen vanuit technisch oogpunt, maar ook gehoormatig. Net dat subtiele tikje extra natuurlijkheid dat andere ontwerpen missen en dat meettechnisch vaak heel moeilijk is te bewijzen. In het geval van de Reference Monitor bleek het een echte audiofiele treffer te zijn. Ondanks de pittige prijs van dit zelfbouwontwerp wordt het, tot op de dag van vandaag, gestaag verkocht. Maar nu wordt het tijd voor een opvolger.

SE, Special Editon?

Tsja, twee letters toegevoegd aan de naam, dat duidt niet meteen op grote veranderingen. Toch is het hele ontwerp compleet aangepast, eigenlijk is alleen de kast hetzelfde gebleven. Het SE-ontwerp bevat namelijk twee geheel nieuwe units van ScanSpeak. We kunnen de liefhebbers van de oude Reference Monitor overigens gelijk geruststellen, ook deze blijft nog steeds leverbaar. Tien jaar is een lange tijd voor een luidspreker en vanuit de markt ontstond de laatste jaren toch wel de be-

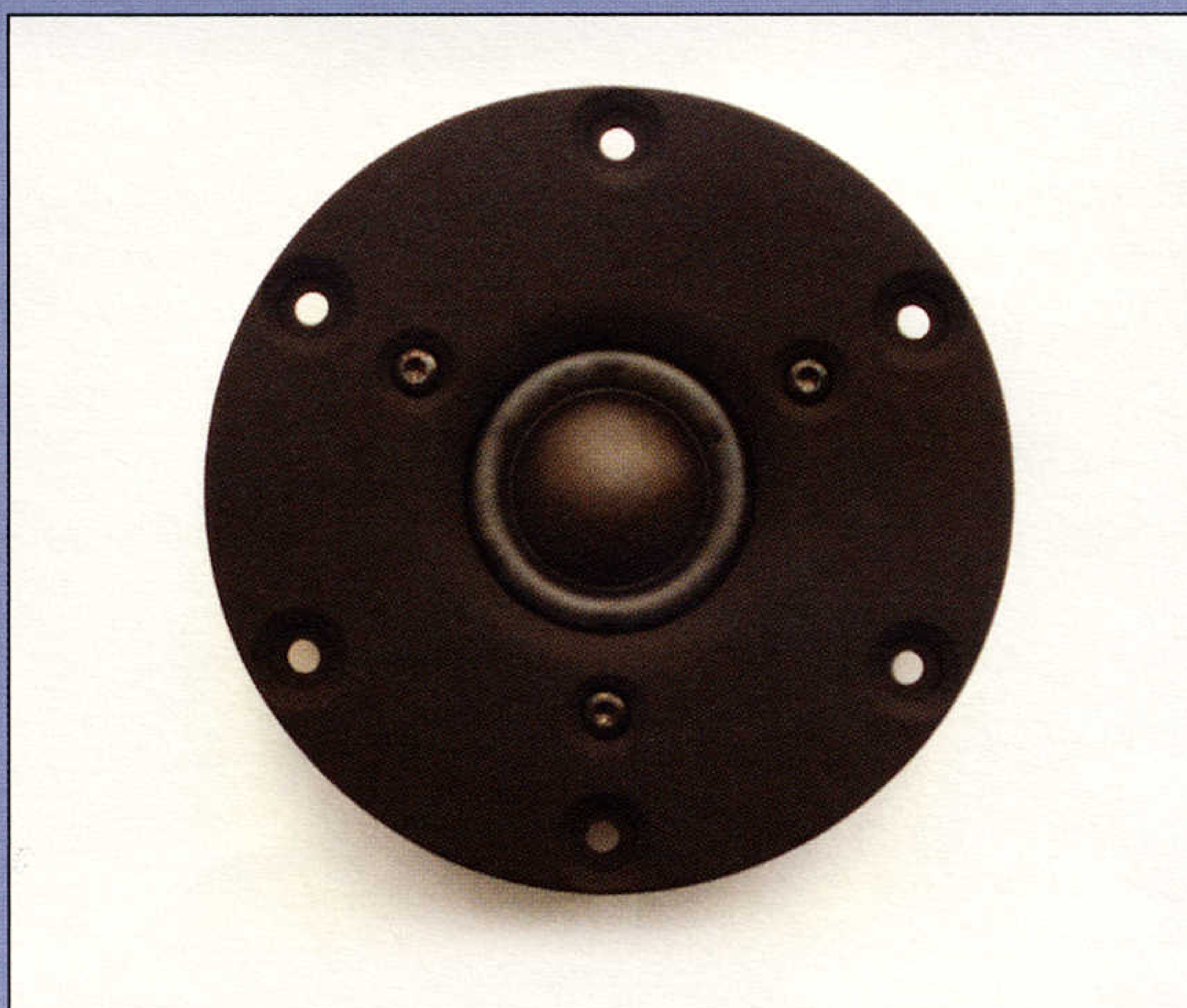
hoefte naar een soortgelijke combinatie als de Reference Monitor, maar dan met actuele drivers. In dit geval natuurlijk units uit de fameuze Revelator-serie van ScanSpeak, die immers bekend staan om hun compromisloze ontwerpen. Smulders koos hierbij voor de SE-versies van twee gloednieuwe chassis, namelijk de 18W4531G en de D3004/ 6600. De zogenaamde SE-versies van Scanspeak zijn speciale units die worden geselecteerd op zo laag mogelijke vervormingscijfers en als matched-pairs worden geleverd (elk paar gelijk binnen ±1 dB binnen het effectieve frequentiebereik). Dat is natuurlijk een uitstekend uitgangspunt voor een topontwerp.

Nieuwe units

Bij het ontwerp van de nieuwe D3004/6600 zijn de ScanSpeak-ontwerpers uitgegaan van de ervaringen die ze hebben opgedaan met de 1" D29-ringradiator. Dit heeft geresulteerd in een lage resonantiefrequentie en een brede afstraalhoek die meer past bij een 3/4"-dome dan bij een 1"-exemplaar. Bij deze tweeter is het zogenaamde AirCirc-magneetsysteem toegepast, dat uniek is voor tweeters. In plaats van een enkele ronde magneet zijn bij deze tweeter zes kleinere staafjes van neodymium toegepast, die rond de spreekspoel zijn gegroepeerd (het lijkt wel een soort mini-raketmotor aan de achterkant). Daardoor ontstaat een open structuur die in combinatie met de kamer achter de dome reflecties en resonanties sterk onderdrukt. Het brede afstraalgedrag in combinatie met het voor een 1"-tweeter zeer uitgebreide frequentiebereik van 600...20.000 Hz (±2 dB) maakt deze unit ideaal voor een hoogwaardige tweeweg luidspreker. Welke interessante dingen kunnen we vertellen over de 6,5"-midwoofer 18W4531G (zoals ScanSpeak deze zelf noemt)? Hij behoort in elk geval tot de Revelator-serie, wat op zich al een maatstaf voor kwaliteit is. Het degelijke, gegoten chassis van deze kruising tussen een woofer en middentoner is typisch voor de hele lijn van ScanSpeak: er is nergens bespaard op kosten en gestreefd naar optimale eigenschappen. De relatief kleine en lichte (17,5 g) conus is voorzien van inkepingen (sliced paper cone) die vanuit het midden schuin over de conus naar de rand lopen, waardoor break-up op het conusoppervlak sterk wordt onderdrukt. Deze conusconstructie wordt ook bij enkele andere ScanSpeak-untis al met succes toegepast.

De ophanging, spreekspoel en magneetconstructie zijn geoptimaliseerd voor een grote lineaire uitslag van de conus, zodat ook bij lage frequenties een redelijke geluidsdruk (ondanks de geringe afmetingen) met lage vervorming mogelijk is. Uit technisch oogpunt gezien zijn beide drivers een uitstekende keus voor een high-end tweeweg luidspreker. Het is natuurlijk de vraag of de nieuwe combinatie de oude Reference Monitor voorbij zal streven. Maar dat vertellen we u pas later, aan het einde van dit artikel.









Figuur 1.
Foto van de twee losse drivers, voor en achterkant

Scheidingsfilter

Het scheidingsfilter van de nieuwe SE-versie is te zien in figuur 1. Smulders beperkt zich bij de meeste van zijn ontwerpen tot het hoogst noodzakelijke in de filtersecties. Steile filterhellingen zijn uit de boze omdat deze snel faseproblemen tussen de drivers opleveren en bovendien de faselineariteit van het totale systeem aantasten. Vergelijken we dit filter met dat in de Reference Monitor, dan is het toch duidelijk anders van opzet en bovendien zijn de waarden van de componenten flink aangepast. Laten we eerst naar de sectie voor de woofer kijken. De combinatie van de seriespoel van 1,2 mH met de parallelcondensator van 10 mF levert in principe een filterhelling van 12 dB/octaaf. Door het opnemen van een weerstand in serie met de condensator verandert het filtergedrag enigszins. De helling wordt vooral rond het kantelpunt wat minder steil en er ontstaat daar een verloop dat tussen 6 en 12 dB/octaaf in ligt. De RC-combinatie die nu over de woofer hangt (waarbij de weerstand net zo groot is gekozen als de DC-weerstand van de woofer) fungeert nu tevens als impedantiecorrectie voor deze unit.

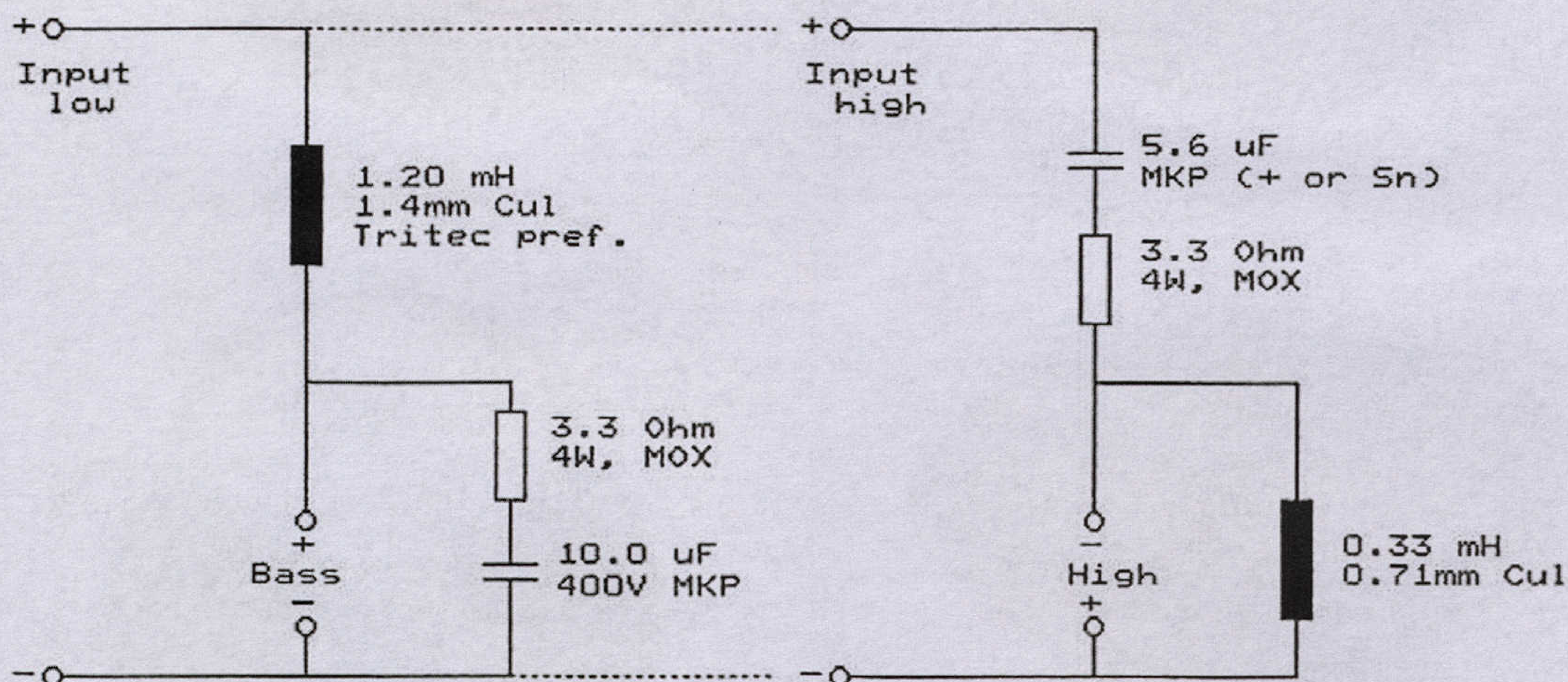
Bij de tweeter zien we een soortgelijke opzet. Ook hier wordt een tweede-orde filter (5,6 mF/0,33 mH) ingezet om de tweeter te beschermen tegen te veel energie bij frequenties die hij niet meer aankan. In serie met de tweeter is nog een dempingsweerstand van 3,3 ohm opgenomen om het rendement van de D3004 aan te passen aan dat van de 18W4531. Die weerstand beïnvloed tevens de filterwerking, zodat de uiteindelijke helling wat slapper verloopt dan 12 dB/octaaf. Een impedantiecorrectie is hier verder niet nodig.
De overnamefrequentie ligt bij dit systeem op circa 2KHz, relatief laag voor een tweeweg luidspreker, maar gezien de akoestische eigenschappen van de Scanspeak-tweeter is dat zonder meer mogelijk.

Het filter voor dit nieuwe ontwerp wordt door importeur Audio Components kant en klaar geleverd, maar zelfbouw is natuurlijk geen enkel probleem. In de kant en klare versie zijn overigens componenten van uitstekende kwaliteit toegepast, daar heeft men echt niet op bezuinigd. Voor de grote spoel is een Tritec-exemplaar met 1,4-mm-koperdraad genomen en voor de twee condensatoren hoogwaardige MKP-typen. De tweede spoel is een luchtspoel met 0,71-mm-draad. Bezuinig hier bij zelfbouw ook niet op, want filtercomponenten van mindere kwaliteit zullen meteen van invloed zijn op de klankkwaliteit van het hele systeem.

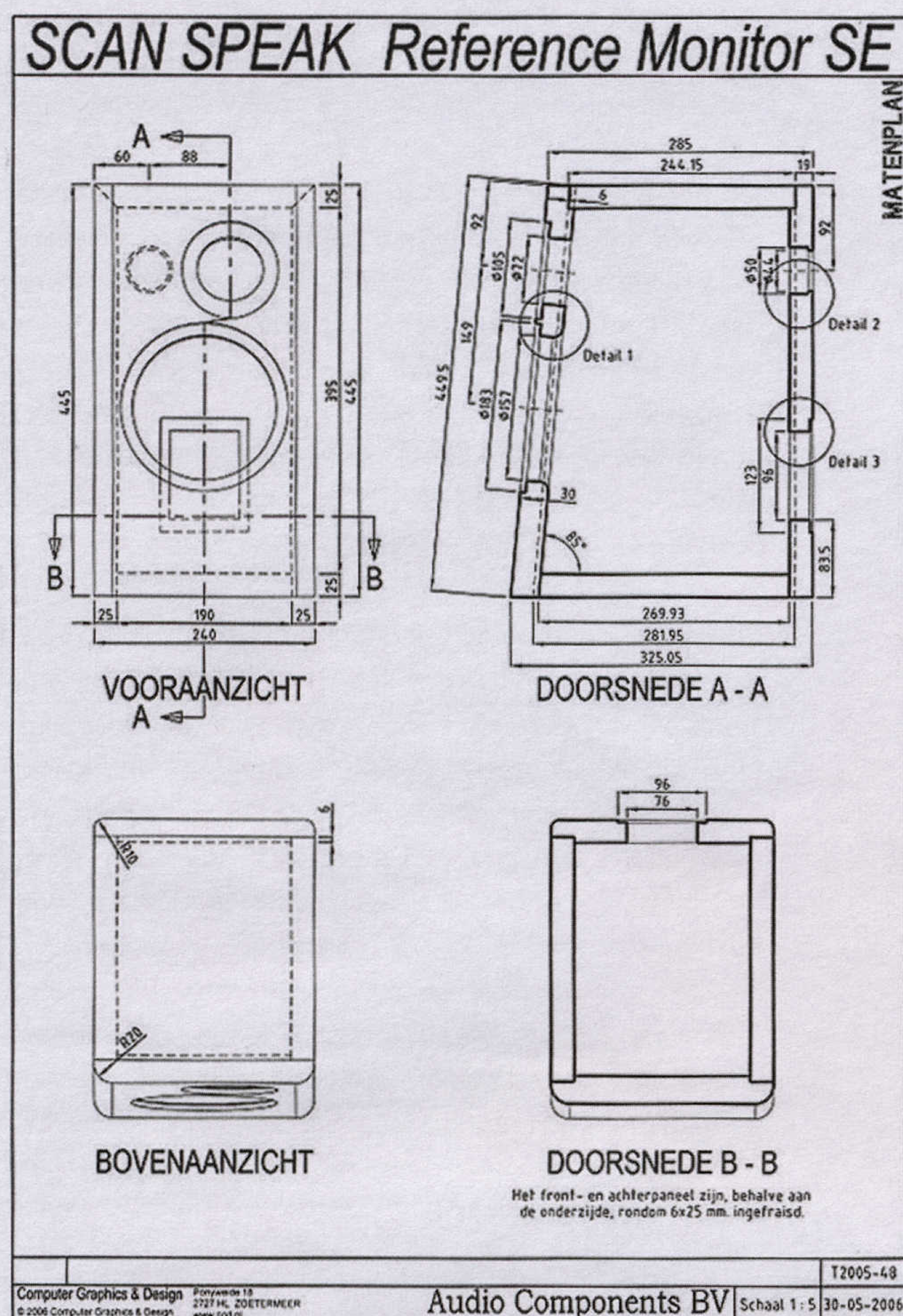
In fase of in tegenfase?

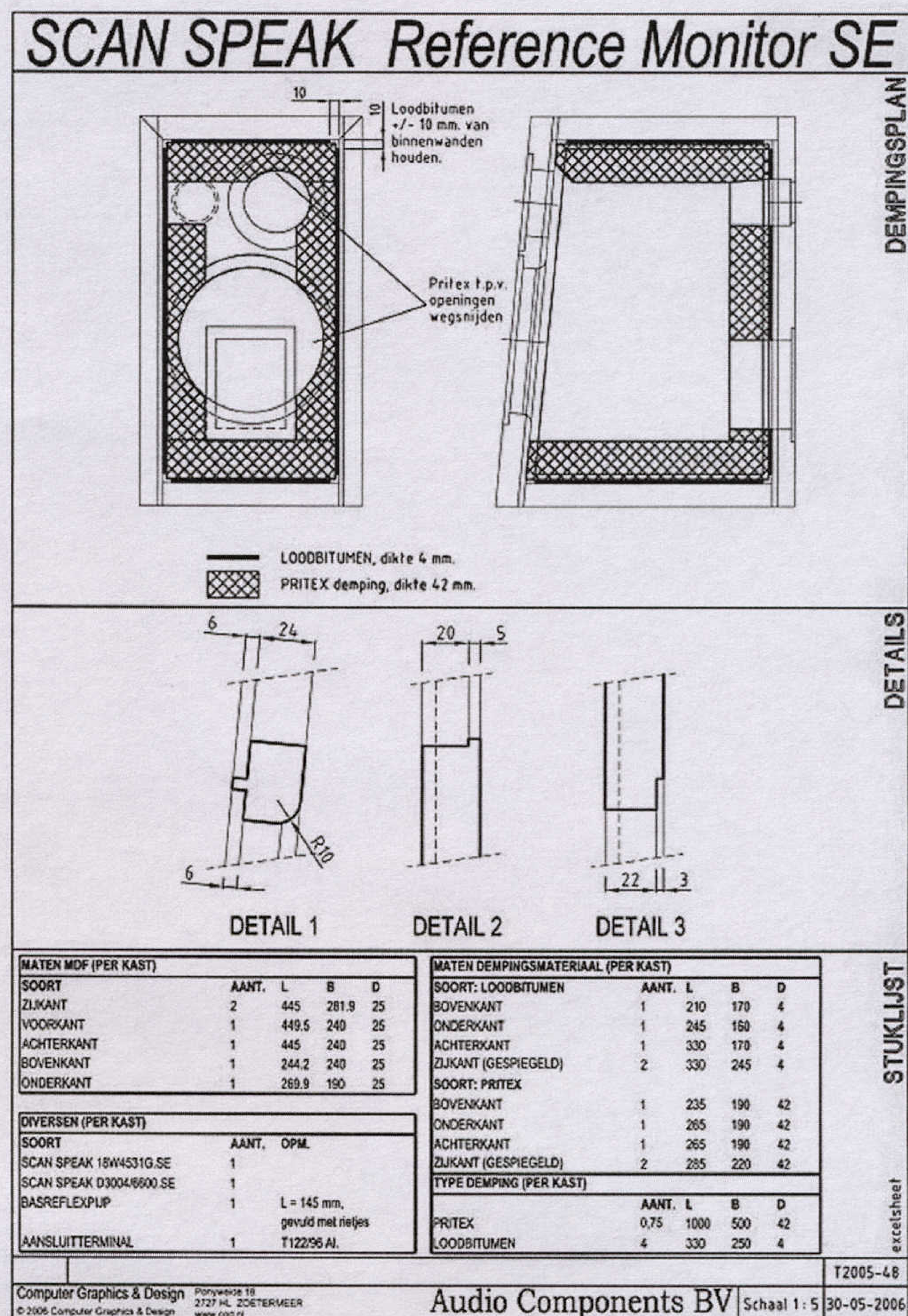
Kijken we nog eens goed naar het filterschema, dan blijkt de tweeter hier in tegenfase te zijn aangesloten. Dit in tegenstelling tot de oorspronkelijke Reference monitor, waar beide units in fase waren aangesloten op het filter. In verschillende Internet-fora hebben bouwers van deze luidspreker zich afgevraagd of dat wel correct was en waarom de units zo werden aangesloten. Om die reden willen we hier op dit onderwerp iets dieper ingaan.

Bij het berekenen van een scheidingsfilter voor een luidspreker moet een ontwerper het gedrag van het filter combineren met het frequentie-, fase- en impedantiegedrag van de toegepaste units in de uiteindelijke behuizing. De units beïnvloeden immers het filter door hun niet-lineaire impedantieverloop. Een real-life luidsprekerunit is nooit ideaal, die vertoont ook een zeker frequentiegedrag met bijbehorend faseverloop. Verder zal de lucht door de fysieke plaats van de units in de behuizing niet door elke unit op hetzelfde moment in beweging worden gezet. De wooferconus ligt bij een rechte voorwand immers verder naar achteren dan de tweeter-dome en daardoor ontstaat al een natuurlijk faseverschil tussen de units. Dit verschijnsel heeft een heel sterke invloed op de kantelfrequentie van het systeem. De vraag of de tweeter in fase of in tegenfase moet worden aangesloten, hangt dus helemaal af van het totaal van alle genoemde factoren. Sluit men de tweeter verkeerd



Figuur 2.
Filterschema





MATEN MDF (PER KAST)				
SOORT	AANT.	L	B	D
ZIJKANT	2	445	281.9	25
VOORKANT	1	449.5	240	25
ACHTERKANT	1	445	240	25
BOVENKANT	1	244.2	240	25
ONDERKANT	1	269.9	190	25

DIVERSEN (PER KAST)		
SOORT	AANT.	OPM.
SCAN SPEAK 18W4531G.SE	1	
SCAN SPEAK D3004/6600.SE	1	
BASREFLEXPIJP	1	L = 145 mm, gevuld met rietjes
AANSLUITTERMINAL	1	T122/96 Al.

MATEN DEMPINGSMATERIAAL (PER KAST)				
SOORT: LOODBITUMEN	AANT.	L	B	D
BOVENKANT	1	210	170	4
ONDERKANT	1	245	160	4
ACHTERKANT	1	330	170	4
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	330	245	4
SOORT: PRITEX				
BOVENKANT	1	235	190	42
ONDERKANT	1	265	190	42
ACHTERKANT	1	265	190	42
ZIJKANT (GESPIEGELD)	2	285	220	42

TYPE DEMPING (PER KAST)				
	AANT.	L	B	D
PRITEX	0,75	1000	500	42
LOODBITUMEN	4	330	250	4

Figuur 3.
Bouwtekening kast

aan, dan resulteert dit meteen in een flinke dip in de totale amplitude rond het kantelpunt. Houdt u bij de opbouw van een luidsprekerkast dus aan de voorschriften van de ontwerper, dan krijgt u een optimaal resultaat.

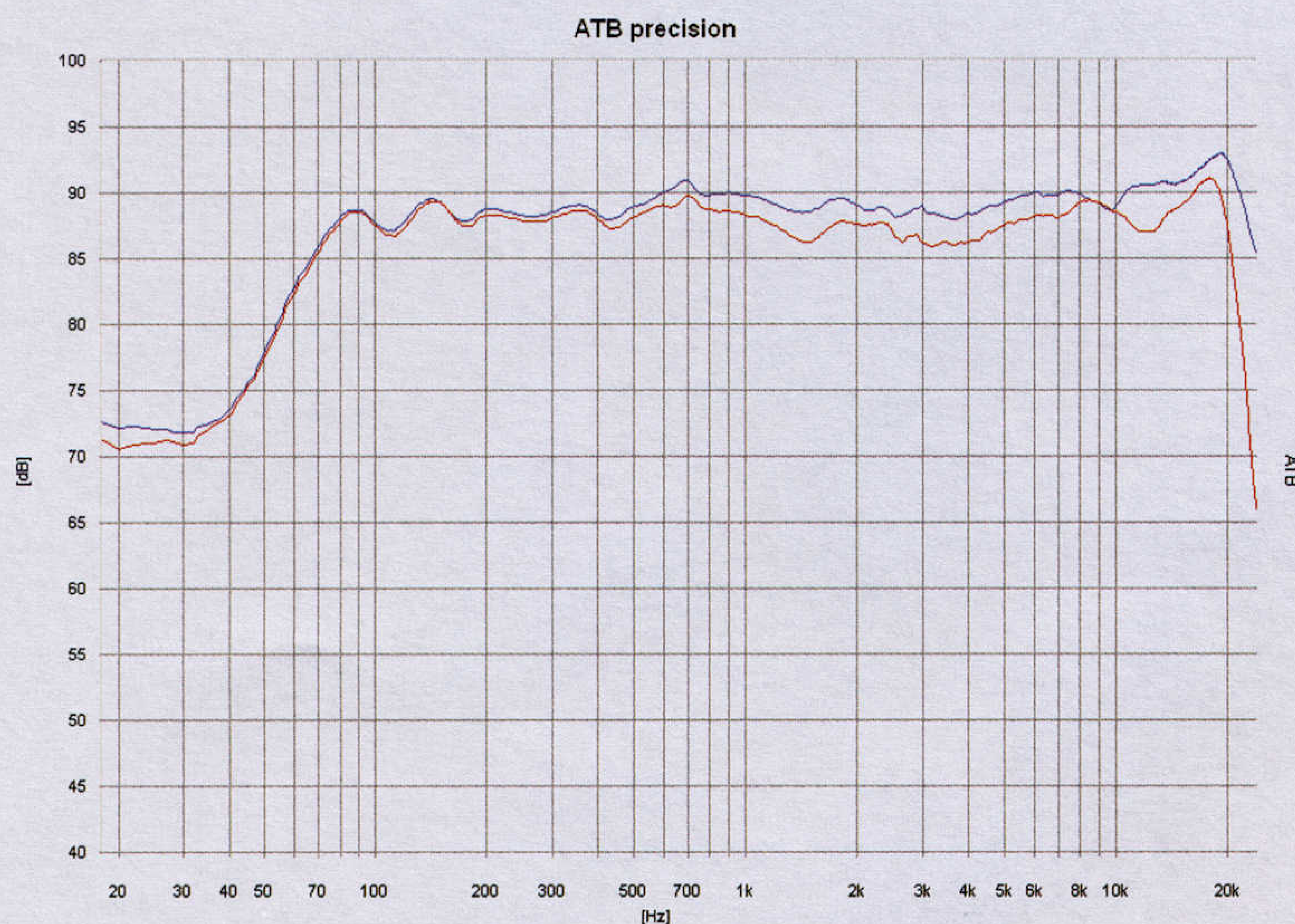
Dit verhaal sluit meteen mooi aan op de vorm van de kast voor de SE-versie. Die is namelijk voorzien van een licht achterover hellende frontplaat die de akoestische centra van woofer en tweeter vrijwel boven elkaar situeert. Deze opstelling is zeer belangrijk voor het ontwerp en het bijbehorende filter.Ze maakt dus deel uit van de achterliggende ontwerpfilosofie.

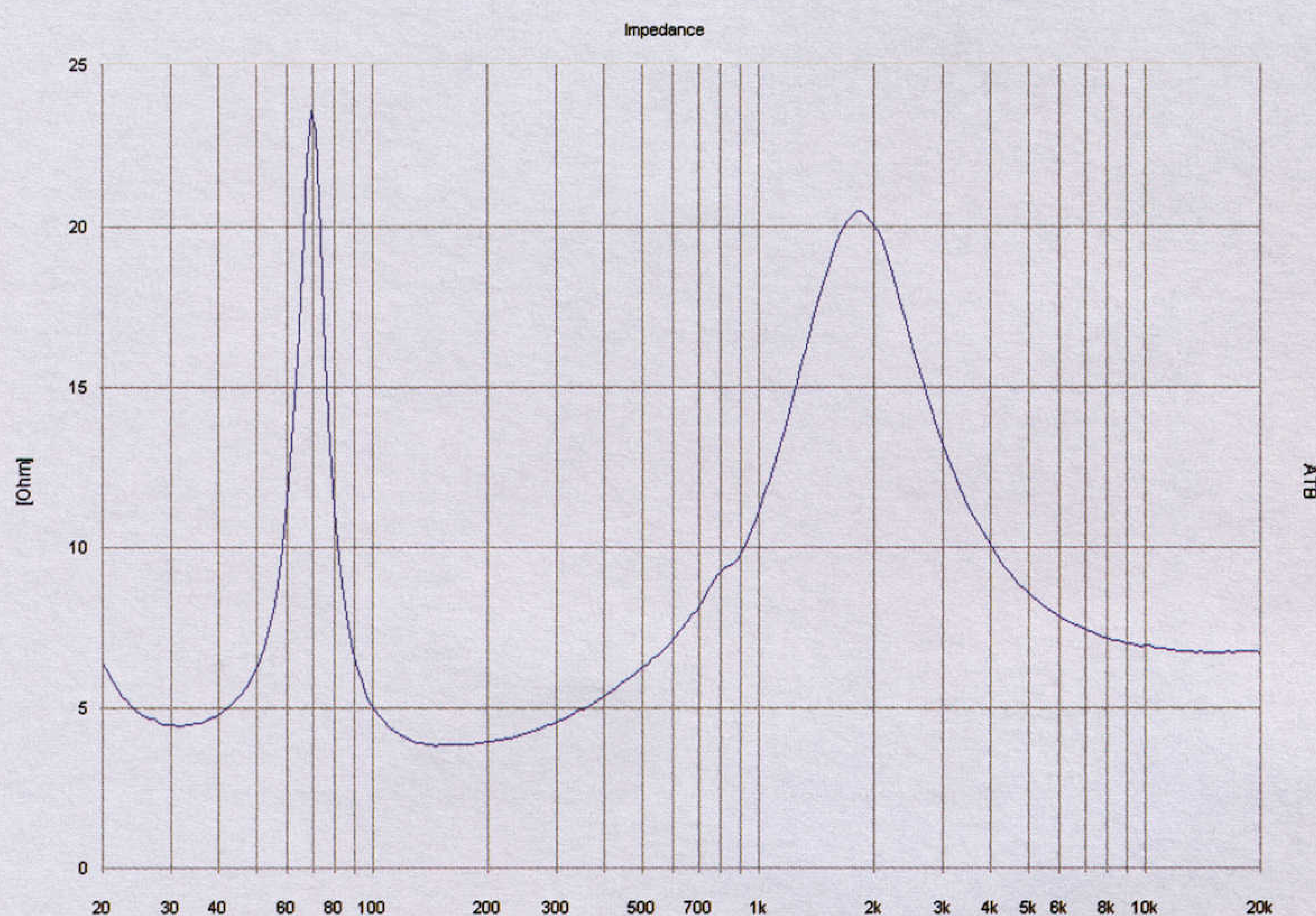
De kast

De kast van de Reference Monitor SE is weliswaar klein, maar door de licht achteroverhellende frontplaat niet zo gemakkelijk zelf te maken. Gelukkig zullen er zeker enkele luidspreker-zaken zijn die hiervoor een set voorgezaagde panelen of compleet opgebouwde kasten gaan leveren. Voor de behuizing is 25-mm dik MDF gekozen, behoorlijk dik voor een kast(je) met een hoogte van nog geen 45-cm. Het voor- en achterpaneel zijn volgens de bouwtekening aan de zijkanten iets ingefreesd, zodat de zijpanelen hier extra stevig aan vast komen te zitten. Ook de gaten voor de twee luidsprekerunits worden van een ingefreesde rand voorzien, zodat ze straks mooi verzonken kunnen worden gemonteerd. Dat is niet zozeer uit esthetisch oogpunt gedaan, maar om het afstraalgedrag van de tweeter zo goed mogelijk te houden. Aan de achterzijde bevinden zich twee gaten: een vierkante uitsparing voor de aansluit-terminal en een rond gat van 50-mm voor de basreflexpijp. Die pijp is overigens 14,5-cm lang en ze wordt na de montage helemaal opgevuld met gewone limonaderietjes die ruis en andere bijgeluiden in de poort onderdrukken. Na de opbouw en afwerking (lak/fineer) van de kast wordt het inwendige nog eens goed onder handen genomen. Alle zijpanelen en het achterpaneel worden voorzien van een 4 mm dikke laag zelfklevende loodbitumen die van te voren eerst nauwkeurig op maat is gesneden en van de nodige gaten is voorzien. Daarna wordt de kast bekleed met Pritex. Het is een hele klus om dit netjes te doen en voldoende ruimte te laten voor de units en de basreflexpijp, maar het resultaat is wel een kast die akoestisch gezien vrijwel "dood" is.

Tot slot komt het (in onze ogen) mooiste gedeelte van de klus: het monteren van de luidsprekerunits, het aansluitpaneel en het scheidingsfilter, plus het leggen van de bedrading met eerste klas luidsprekerkabel (die hoeft overigens niet zo dik te zijn; het gaat intern om zeer korte afstanden en dikke kabel is in het kleine kastje bijna niet te verwerken). Let er goed op dat de units met de juiste polariteit op het filter worden aangesloten. Na al dat harde werk is het eindelijk zover dat de luidsprekers kunnen worden aangesloten op een goede audio-installatie en dan kunnen we beginnen met proefdraaien.







Figuur 4. Frequentie-karakteristiek luidspreker
Figuur 5. Impedantie-curve luidspreker

Klankkwaliteiten

De kwaliteiten van de bestaande Reference Monitor zijn inmiddels welbekend en zeer overtuigend. In dit geval leek het ons het beste om te beginnen met het luisteren naar een set van deze luidsprekers, om het klankkarakter zo vers mogelijk in ons geheugen te hebben voor de beoordeling van de nieuwe versie.

Wanneer je een Reference Monitor op een goede installatie aansluit en begint met het draaien van muziek, dan valt je meteen één ding op: er is eigenlijk niets opvallends te melden. Het geluid is gewoon rondom je, het klankbeeld staat in de kamer. Het is compleet, er ontbreekt niets en er springt niets bovenuit. Het laag is detailrijk en zelfs de allerlaagste frequenties zijn nog strak gedefinieerd aanwezig, dit in tegenstelling tot de meeste andere monitor-luidsprekers met een relatief kleine kastinhoud. De midden- en hoogweergave is bijzonder neutraal, zonder enig spoor van overdrijving; alle instrumenten in een (goede) opname worden op de juiste plaats in de ruimte afgebeeld. Als je een tijdje aan het luisteren bent naar deze luidsprekers, is het moeilijk om je te blijven concentreren op de technische weergave-eigenschappen, want je luistert en geniet gewoon van de muziek.

Je vraagt je na het beluisteren van deze boxen werkelijk af of hieraan nog wel iets te verbeteren valt. Daar komen we nu snel achter, want de nieuwe SE-versie mag aantreden. Wat direct merkbaar is bij het overschakelen naar de SE-versie, is dat deze een wat opener geluidsbeeld heeft dan zijn voorganger. Details in de weergave staan iets meer op de voorgrond en zijn wat scherper omlijnd. De focussering is beter en het totale geluidsbeeld komt wat meer naar je toe, alsof alle muzikanten iets dichter bij je staan. De overige eigenschappen van de SE-versie lijken verder heel sterk op die van zijn voorganger, maar dat is natuurlijk niet zo verwonderlijk met deze luidsprekerbezetting.

De betere detaillering van de SE-versie heeft helaas één nadeel: ze is daardoor nog kritischer geworden voor de kwaliteit van het aangeboden signaal en de opstelling. Maar als dat allemaal in orde is, dan beloont ze dat ook royaal met een perfect ruimtelijk klankbeeld, zonder dat de weergave ook maar een moment te analytisch wordt. Het blijft allemaal steeds heel natuurlijk klinken. Langdurig luisteren in de luie stoel naar een mooie plaat of SACD is met de Reference Monitor SE het ultieme genieten van muziek. De SE is derhalve een bijzonder geslaagd ontwerp en streeft zijn voorganger qua klankeigenschappen nog net iets voorbij. Geen goedkoop ontwerp, maar voor de kritische muziekliefhebber het geld dubbel en dwars waard.

Naam:	ScanSpeak Reference Monitor SE
Principe:	tweeweg basreflex-systeem
Ontwerp:	Rolph Smulders
Woofer:	18W/4531GSE
Tweeter:	D3004/6600SE
Scheidingsfilter:	Scheidingsfrequentie 2KHz, 6dB /12 dB
Afmetingen:	445 x 240 x 325 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	18 liter
Belastbaarheid:	70 Watt
Prijs bouwkit:	€ 475,- per stuk (drivers + scheidingsfilter)



Vloerstaanders van niveau

Classic & Classic XL

DOOR TONY GEE

Vloerstaande luidsprekerboxen zijn tegenwoordig erg populair vanwege het feit dat een grotere kast de mogelijkheid schept voor een royale laagweergave, bovendien is er geen aparte standaard nodig. Bij twee-weg systemen wordt dan meestal een 15-cm of 17-cm woofer ingezet vanwege de goede kwaliteiten in het middengebied. Dat het ook kan met een grotere woofer laat deze op klassieke leest geschoeide luidspreker zien.

De woofer waar alles om draait bij deze luidspreker is de Seas CA22RNX/H1288. Dit is een 22-cm exemplaar met een gecoat papieren conus, een materiaal dat ondertussen zo door ontwikkeld is dat het prima mee kan met de moderne conus materialen. Papieren woofers zie je steeds vaker terug in moderne ontwerpen, deze specifieke Seas woofer wordt bijvoorbeeld gebruikt in de Sonics Arkadia luidspreker. De relatief lichte papieren conus is opgehangen in een rubberen rolrand die vrij is van synthetische toevoegingen, de spider die de spreekspoel centreert in de luchtspleet is van gecoat textiel gemaakt. De vrij lange spreekspoel heeft veel bewegingsvrijheid gekregen in het luchtig gebouwde gegoten chassis. Het hele gebied tussen de spider en de voorste poolplaat is open zodat je de spreekspoel vrij kunt zien bewegen. Lucht wervelingen en compressie in de smalle luchtspleet worden hierdoor tot een minimum beperkt. Bovendien is de achterste poolplaat verdiept uitgevoerd zodat deze woofer uiteindelijk een maximale slag kan maken van 26-mm piek-piek.

Een twee-weg luidspreker met een relatief grote woofer vraagt om een tweeter die voldoende laag kan worden ingezet vanwege een lager kantelpunt dan gebruikelijk. Bovendien moest deze tweeter van hoge kwaliteit zijn om het potentieel van dit ontwerp geheel te kunnen benutten. Uiteindelijk is gekozen voor de ScanSpeak D2904-7100, deze tweeter is gebaseerd op de legendarische ScanSpeak R2904-7000 referentie tweeter maar in plaats van de ringradiator met centrale kegel vinden we hier een klassieke soft-dome met een naar verhouding grote rolrand. Ook deze tweeter heeft het zogenaamde SD-2 neodymium magneet systeem dat omgeven wordt door een onregelmatig gevormde, gegoten aluminium behuizing. De frontplaat is gemaakt van 6-mm massief aluminium en voorzien van maar liefst zes bevestigingsgaten wat zorgt voor een professionele montage op de baffle. De ScanSpeak D2904-7100 heeft een hoog rendement, een goede spreiding en loopt bovenin tot ruim boven de gehoorgrens door. SACD-compatible zoals dat zo mooi heet.

Meerdere opties

De Classic is op te bouwen in twee verschillende versies: een standaard versie van 250x300x970-mm met een gesloten kast en een grotere "XL" basreflex versie met de afmetingen 270x370x1050-mm. De kleinere ge-

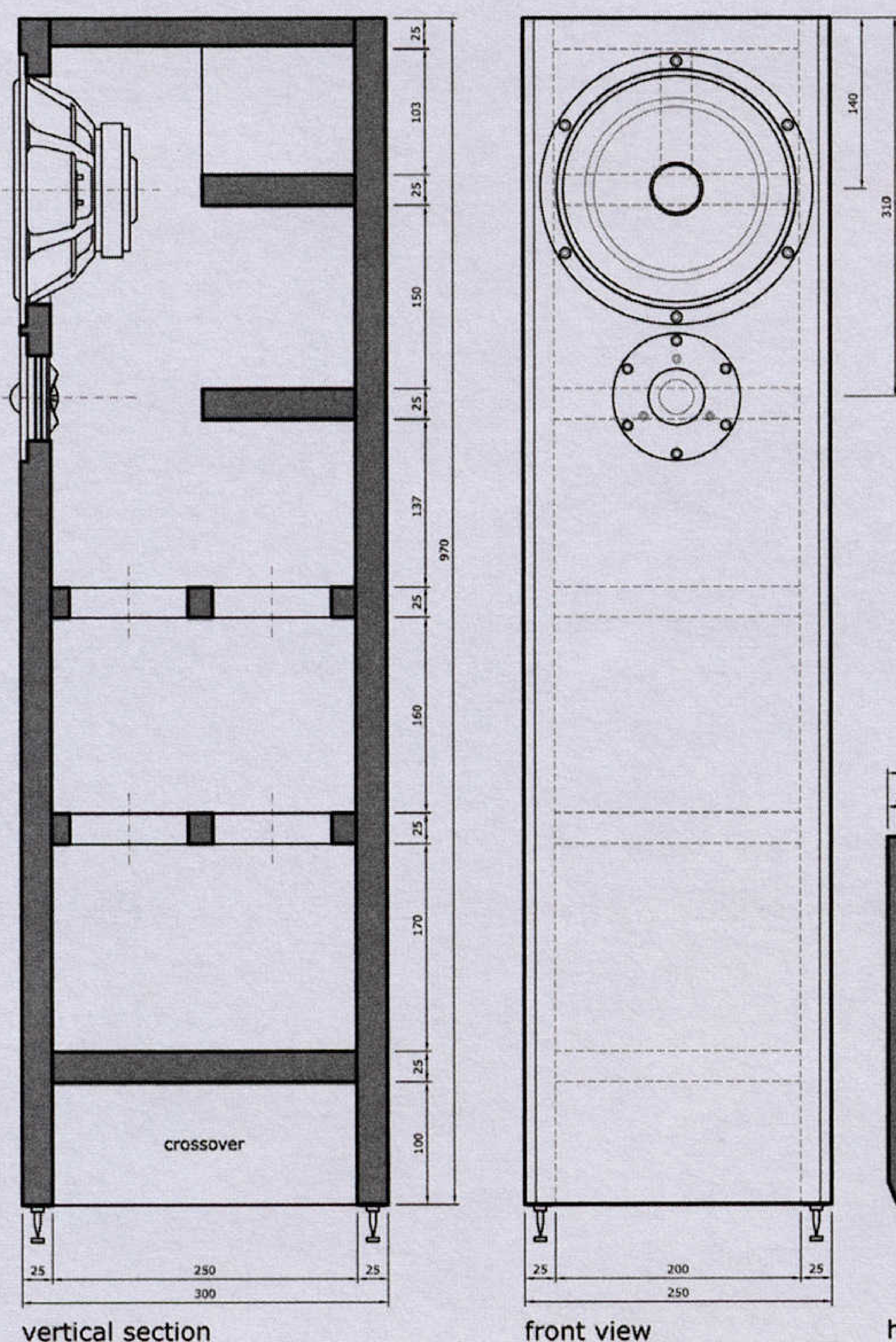


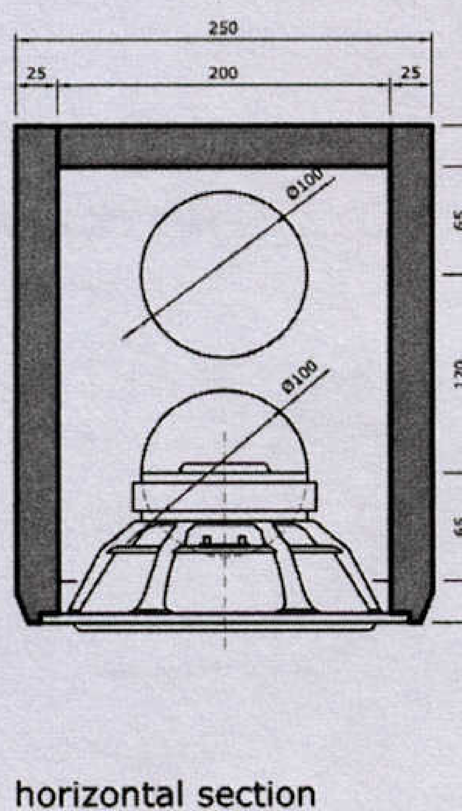


Foto 1. De drivers en filters van de Classic-XL.

Foto 2. De opbouw van de kastwanden.

sloten kast heeft een inhoud van 38-liter met een Qtc afstemming van 0,77. Dit geeft een –3dB punt van rond de 50Hz en is het meest geschikt voor kleine luisterruimtes en/of het plaatsen dicht tegen een achterwand. De grote XL-versie kan ook als gesloten kast worden gebouwd. Dan heeft de woofer zo'n 60-liter tot zijn beschikking wat resulteert in een Qtc van 0,66 en een –3dB punt van eveneens rond de 50Hz maar met een iets geleidelijker afval in het laag. Deze kast komt het best tot zijn recht in middelgrote luisterruimtes en niet al te ver van een achterwand. Tot slot kan de grote XL-versie ook als basreflex kast worden uitgevoerd. Deze 60-liter basreflex variant heeft een lage poortafstemming van 30Hz wat resulteert in een –3dB punt van circa 33Hz. De poort is gemaakt van dikwandige pvc buis met een inwendige diameter van 68,6-mm en een lengte van 159-mm. Wilt u een warmere laagweergave, echter met een iets slechter impulsgedrag, dan kunt u de poort inkorten tot 105-mm. Hierdoor komt de kast/speaker afstemming op 35Hz bij een gelijk gebleven –3dB punt. De geventileerde uitvoeringen zijn bedoeld voor een vrijstaande opstelling in de grotere huiskamers. Voor alle versies is uiteindelijk de persoonlijke smaak doorslaggevend, de aanbevelingen zijn uitsluitend bedoeld om een indruk te geven van de afstemming in het laag. Onze testexemplaren waren afgewerkt met mooi blank gelakt eiken fineer wat de klassieke uitstraling van deze luidspreker onderstreept.

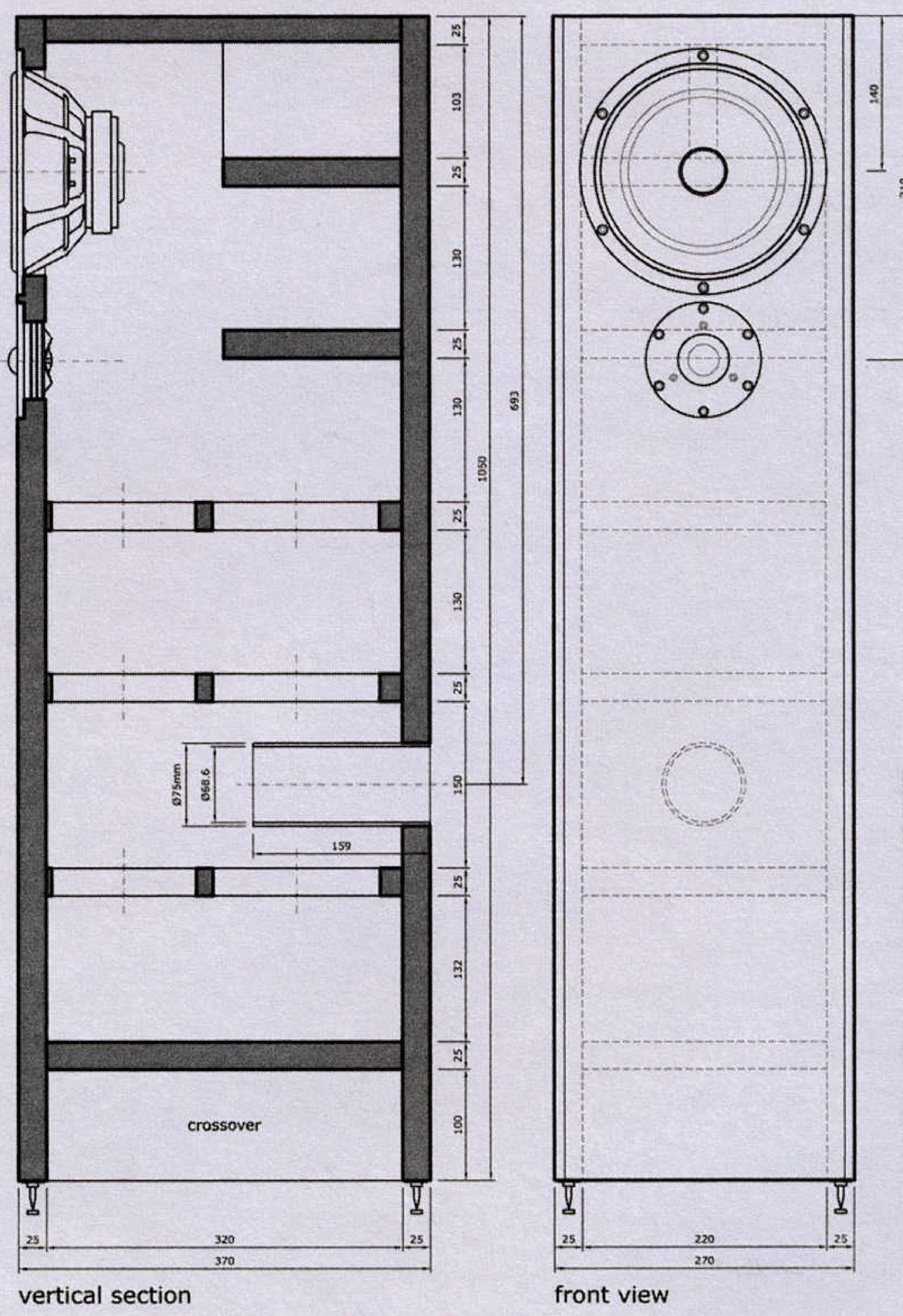


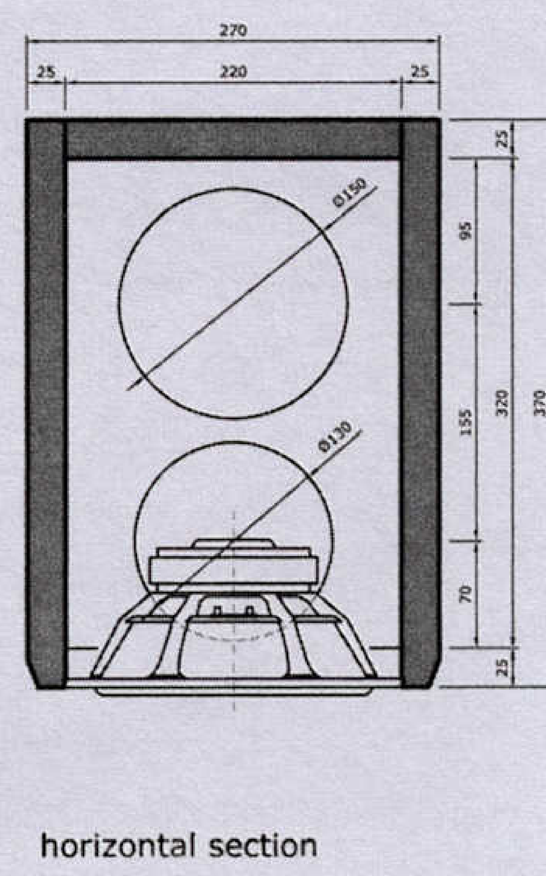


Figuur 1. Bouwtekening Classic

Humble Homemade Hifi - Classic

* 25mm mdf
* woofer: Seas CA22RNX Vbox= 38 liter netto Qtc = 0,77 f-3dB = 50Hz
* tweeter: Scanspeak D2904-7100-01



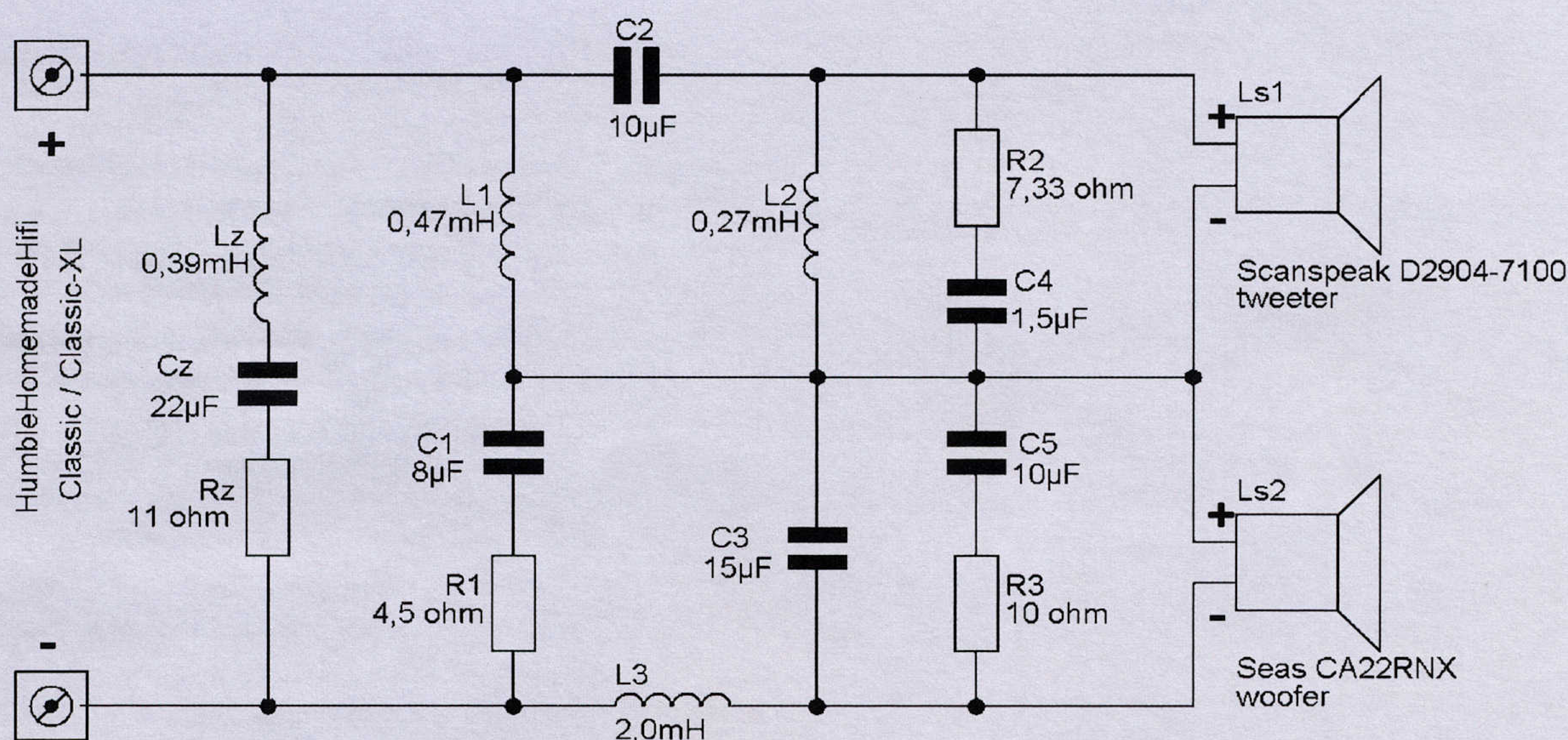


Figuur 2. Bouwtekening Classic XL.

Humble Homemade Hifi - Classic-XL

* 25mm mdf
* woofer: Seas CA22RNX
  Vbox= 60 liter netto closed, Qtc = 0,66 fb = 46Hz, f-3dB = 50Hz
  Vbox= 60 liter netto reflex, fb = 30Hz, f-3dB = 33Hz
* tweeter: Scanspeak D2904-7100-01

Figuur 3. Filterschema



Dempingsmateriaal

De demping van alle kasten is gelijk. Eerst worden alle binnenwanden bekleedt met 4-mm dik zelfklevende bitumen platen – bijvoorbeeld Intertechnik Bitumex of Monacor MDM-830. Daarna volgt een laag tapijt van zware kwaliteit die geheel verlijmd en eventueel met een nietpistool of kleine spijkertjes op de bitumen platen wordt bevestigd. De nietjes of spijkertjes houden het tapijt op zijn plaats terwijl de lijm droogt. Bij de meeste woninginrichters zijn wel reststukken te bemachtigen – omdat het tapijt zich aan de binnenkant bevindt is de kleur toch niet zo van belang. Als laatste wordt de kast nog losjes gevuld met dempingswatten zoals Monacor MDM-3 wat voor driekwart bestaat uit schapenwol, de rest uit polyester, één pak per luidspreker. De matten worden losjes opgevouwen en over de hele lengte van de kasten gelijkmatig verspreid. Alleen direct achter de basreflex poort blijft het vrij van dempingswatten. Ook hier zijn weer mogelijkheden om de laagweergave te beïnvloeden en aan te kunnen passen aan de plaatsing in de luisterruimte. Nog meer dempingwatten in de kast geven een drogere bas, een minder zware vulling leidt tot een warmer en voller laag. Ook hier zal weer zal de persoonlijke voorkeur de doorslag moeten geven. Wat overigens voor alle luidsprekers geldt, is dat het "finetunen" van het dempingsmateriaal pas dient te gebeuren als de luidsprekers na een aantal weken gebruik zijn ingespeeld. Na het inspelen van de woofers is het laag dieper, voller en beter gedefinieerd dan "vers uit de doos".

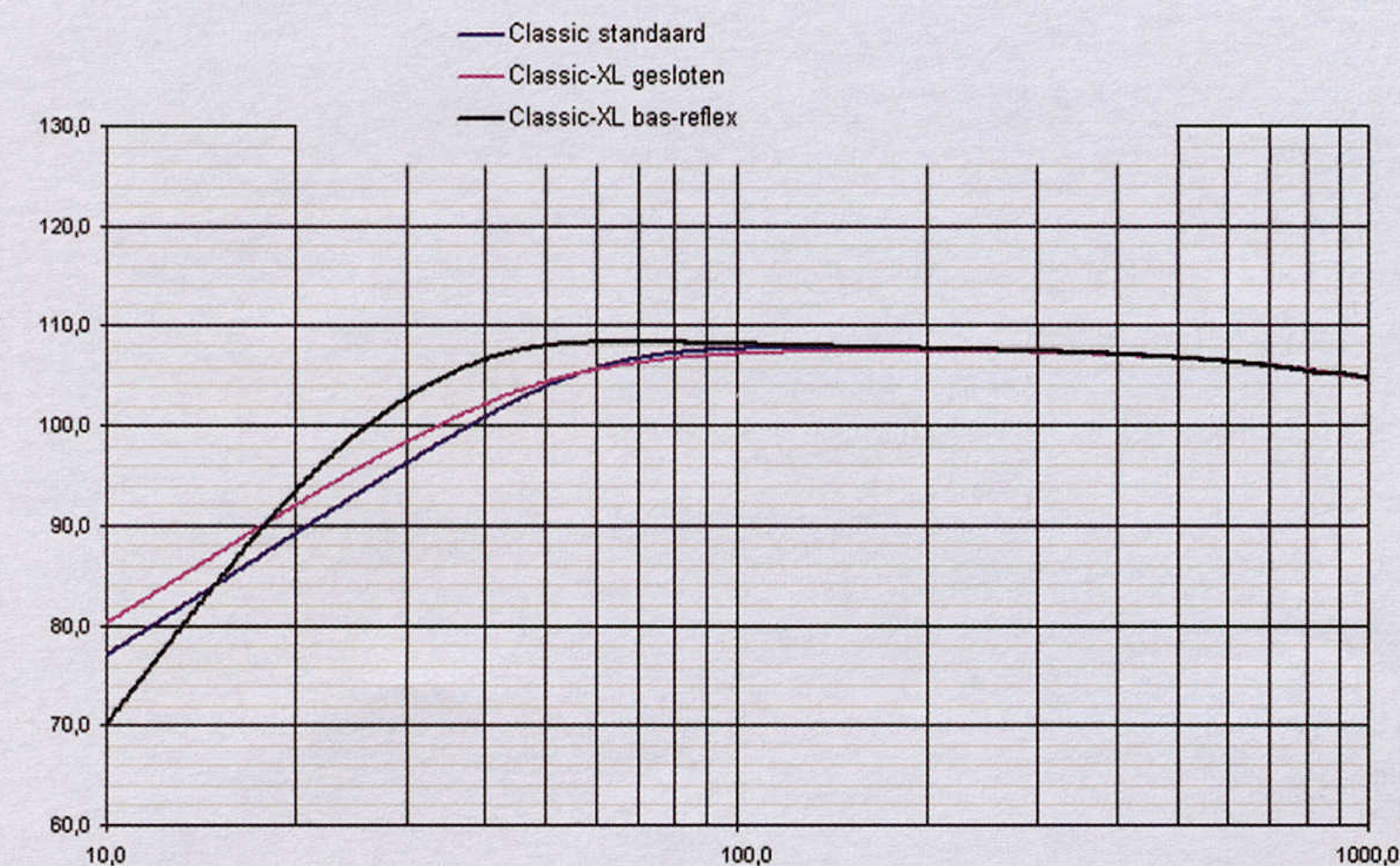
Bijzonder filter

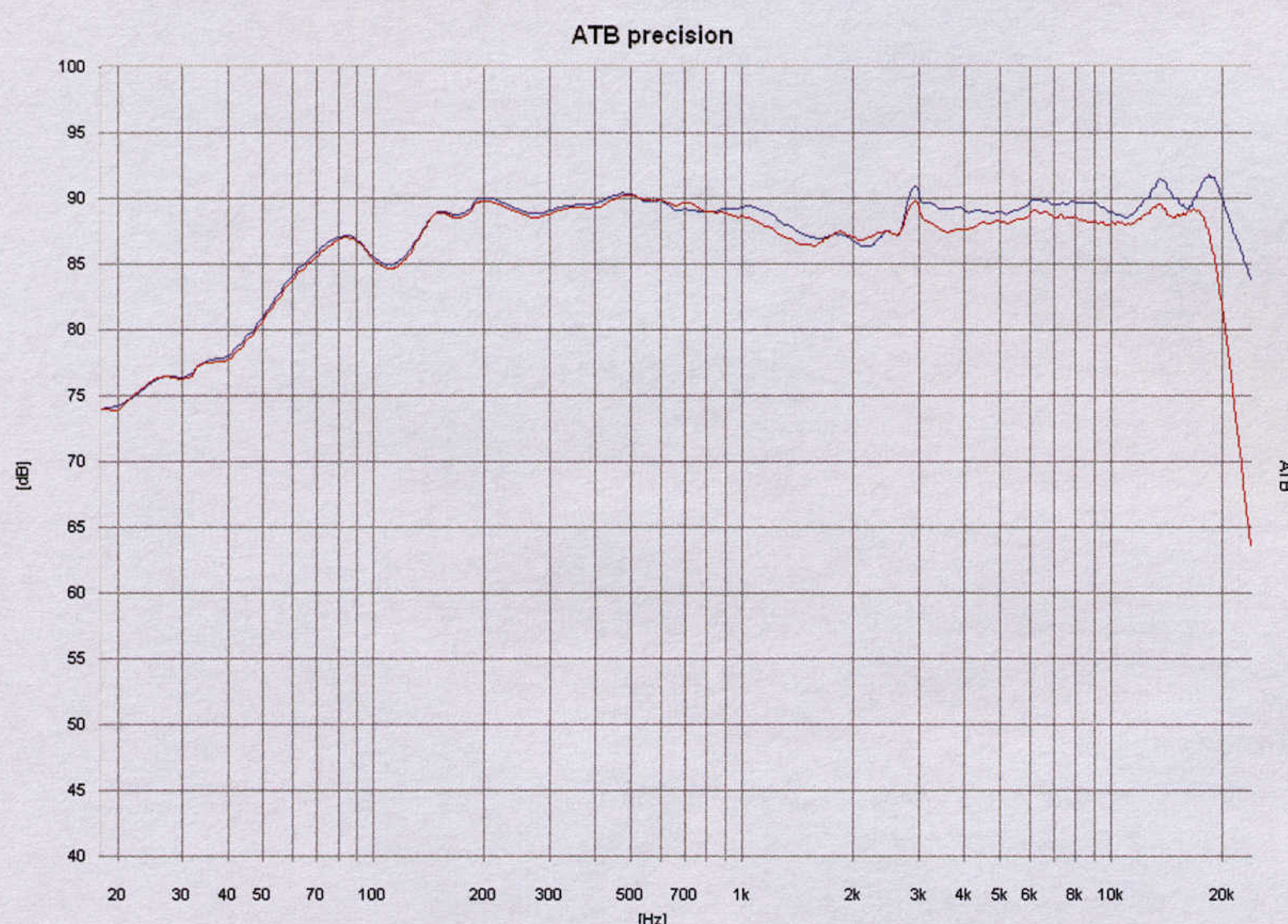
Om bij een laag kantelpunt – in dit geval 1750Hz, de tweeter bij hoge geluidsdrukken voldoende bescherming te kunnen bieden en de vervorming laag te houden, is gekozen voor een hoge orde filter. In dit specifiek geval gaat het om een niet alledaags symmetrisch 3e orde seriefilter met elektrische hellingen van 21dB per octaaf met zowel over de tweeter als over de woofer een Zobel-netwerk die dienen om de impedantiecurve vlak te trekken. Bijkomend voordeel van het steile filter is dat de relatief grote woofer ook snel wordt weggefiltert voordat hij bij hogere frequenties gaat opbreken en bundelen. Tevens is het gedrag ook buiten de luister-as zeer evenwichtig en wordt de interferentie tussen de drivers onderling tot een minimum beperkt vanwege de geringe overlapping. De woofer en de tweeter worden verbonden met het filter via massief enkeladerig zilver draad voorzien van PTFE isolatie.

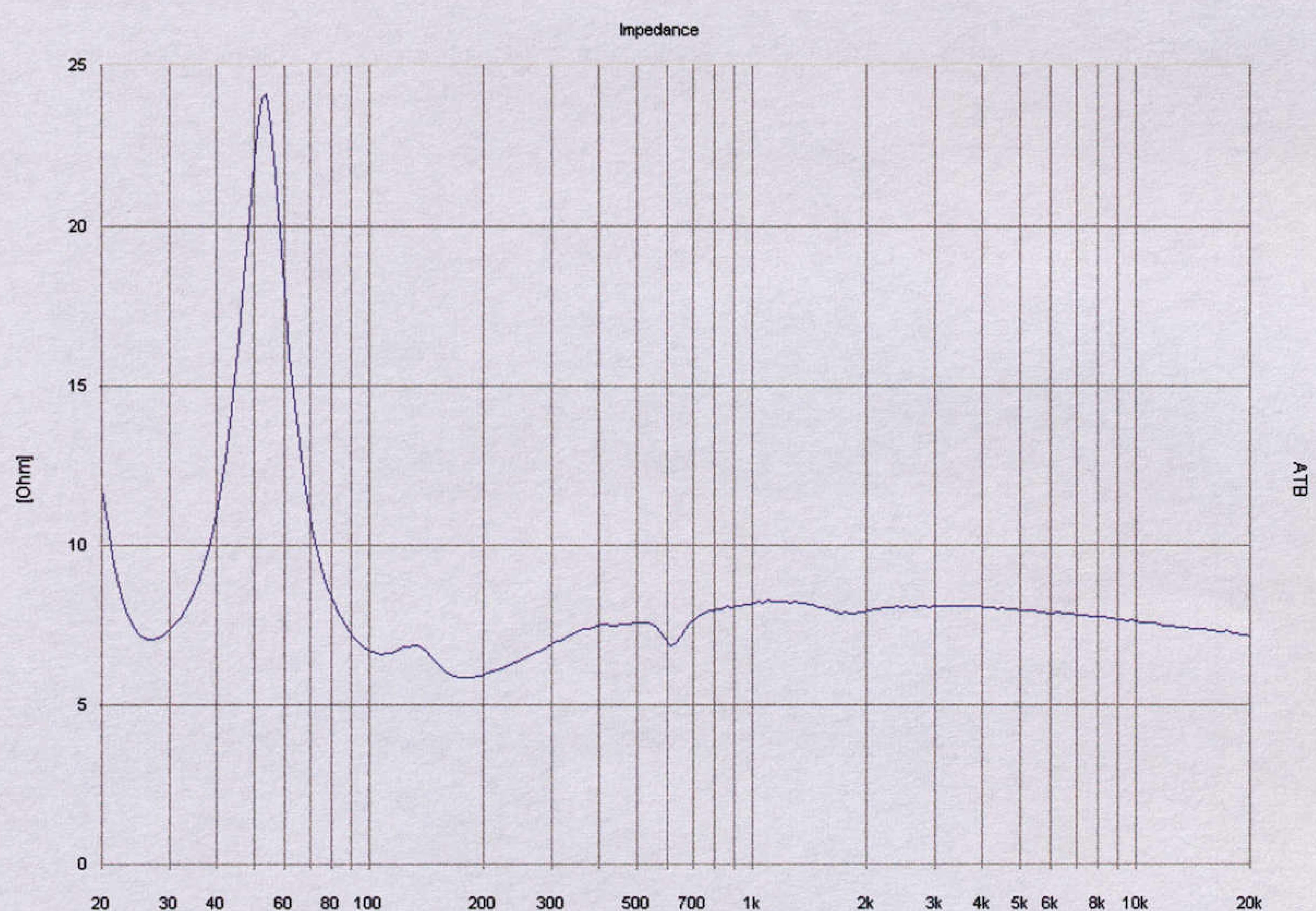
Voor de beoordeling van de invloed van de kwaliteit van de filteronderdelen is uitgegaan van de geventileerde versie van de Classic XL, waarbij op filteronderdelen zeker niet was bezuinigd. Volgens de ontwerper is het filter belangrijker dan de toegepaste drivers als het gaat om het karakter van een luidspreker. Zowel wat betreft de afstemming van het filter als de kwaliteit van de toe-

L1	0,47 mH Mundorf CFC-10 koperfolie spoel, R = 0,10 W
L2	0,27 mH Mundorf CFC-10 koperfolie spoel, R = 0,07 W
L3	2,0 mH Mundorf CFC-10 koperfolie spoel, R = 0,21 W
Lz	0,39 mH luchtspoel met 1mm draad, R = 0,29 W
C1	8mF (3,3mF +4,7mF) Duelund Coherent Audio Virtual Stack koperfolie condensator
C2	10mF Duelund Coherent Audio Virtual Stack koperfolie condensator
C3	15mF Mundorf M-Cap Supreme
C4	1,5mF Mundorf M-Cap Supreme
C5	10mF Mundorf M-Cap Supreme
Cz	22mF MKP Mundorf M-Cap of Intertechnik Audyn Cap
R1	4,5 ohm samengesteld uit een 4,7 ohm Duelund Coherent Audio weerstand met een 100 W, 3 watt carbon film weerstand parallel
R2	7,33 ohm (3x 22 ohm parallel), 3 watts carbon film weerstand
R3	10 ohm, 3 watt carbon film weerstand
Rz	11 ohm (2x 22 ohm parallel), 3 watts carbon film weerstand

* Alle Mundorf M-Cap Supreme condensatoren dienen te worden overbrugd door een kleine Styroflex of Vishay MKP1837 bypass condensator van tussen de 0,010mF en 0,047mF.
* De 2,0mH folie spoel is geen standaard waarde en wordt verkregen door een 2,2mH spoel tot de juiste waarde af te wikkelen.







Figuur 4. De verschillende kastafstemmingen.
Figuur 5. Frequentie curve
Figuur 6. Impedantie curve

gepaste onderdelen. Omdat het hier om een vrij complex filter gaat is er voldoende ruimte om naar eigen smaak en budget te experimenteren, de hier gebruikte onderdelen vertegenwoordigen zo ongeveer het beste wat momenteel verkrijgbaar is op het gebied van filteronderdelen.

Meten

Zowel de frequentie curve als de impedantie curve tonen redelijk vlak. De kleine onregelmatigheid rond 4KHz die we terugzien in de frequentie curve en het watervaldiagram wordt waarschijnlijk veroorzaakt door diffractie verschijnselen langs de randen van de kast ter hoogte van de tweeter. Door meerdere correctie netwerken in het filter is de impedantie curve, op de twee basreflex pieken in het laag na, bijzonder vlak en vormt zo een makkelijke belasting voor vrijwel elke versterker.

Luisteren

De Classic en Classic-XL in de diverse uitvoeringen hebben we uitgebreid kunnen beluisteren in verschillende ruimtes om zodoende een indruk te kunnen krijgen van de opties voor het afstemmen in het laag. Wat dat betreft is de missie geslaagd; door de verschillende combinaties was in alle gevallen een evenwichtige weergave te creëren. Dat evenwichtige karakter vinden we ook terug in het middengebied, dat deze speaker bovendien lekker dynamisch weergeeft. Wat verder opvalt is het schone en transparante hoog wat de ScanSpeak tweeter weet neer te zetten. Werkelijk alle details in de muziek inclusief de bijgeluiden zoals het omslaan van bladmuziek, zijn duidelijk waarneembaar. Deze luidspreker laat wat dat betreft werkelijk alles horen. Andere interlink? Het verschil in karakter wordt zonder verdoezeling meteen duidelijk gemaakt. Hierin schuilt ook een nadeel: deze luidspreker stelt hoge eisen aan de rest van de hifi-installatie. Hierdoor is het matchen van de andere apparatuur en bekabeling een belangrijk item geworden. Deze speaker is zeker geen "mooi-maker", slecht opgenomen cd's klinken dan ook gewoon slecht en blijven werkeloos in de kast staan. Maar als er aandacht is besteed aan de opname kwaliteit dan is het dubbel genieten. Het hele beeld is strak en goed doortekend en heeft tegelijkertijd een vanzelfsprekende rust over zich. Ook bij grotere volumes blijft het plaatje keurig staan. Plaats de speakers wel op een set goede spikes zodat de doortekening in het midden en hoog ook doorloopt in het laag.

Naam:	Classic & Classic XL
Principe:	tweeweg gesloten of basreflex-systeem
Ontwerp:	Tony Gee
Website:	http://www.humblehomemadehifi.com
Email:	humblehomemadehifi@gmail.com
Woofer:	Seas CA22RNX/H1288
Tweeter:	ScanSpeak D3004/7100
Scheidingsfilter:	1750Hz, 21dB
Afmetingen:	Classic 970x250x300 (hxbxd), Classic XL 1050x270x370 (hxbxd)
Netto inhoud:	Classic 38-liter, Classic XL 60-liter
Belastbaarheid:	80 Watt
Prijs bouwkit:	€ 350,- per stuk (drivers) scheidingsfilter vanaf € 150,- filter in hier besproken uitvoering kost circa € 950,- per stuk



Extremon
Een kleine krachtpatser

DOOR TONY GEE

Met een kast inhoud van 15-liter en een woofer met een doorsnede van 17-cm is de enige oplossing om diep laag te produceren een woofer te nemen die een lage resonantie frequentie heeft, een niet al te lage Qts, niet te hoge Vas en bovendien moet deze driver een lange slag kunnen maken. Een woofer die aan deze eisen voldoet is de Adire Audio Extremis 6.8. De Thiele & Small parameters van deze woofer zijn zo gekozen dat een kast inhoud tussen de 14 en 28-liter voldoende is voor een basreflex afstemming ergens rond de 30 tot 40Hz. Bij de Extremon is gekozen voor een vrij compacte basreflex kast van 15-liter waarbij de poort is afgestemd op een lage 34Hz.

Om een lange slag mogelijk te maken heeft Adire Audio gekozen om, in plaats van de gebruikelijke enkele luchtspleet te nemen, twee poolplaten enkele millimeters achter elkaar te monteren. De wikkelhoogte van de spreekspoel op de aluminium drager is relatief kort gehouden en daardoor licht van gewicht. Als de spreekspoel bij grote uitslagen de ene luchtspleet verlaat komt hij in het magnetisch veld van de tweede luchtspleet en visa-versa. Een beetje vergelijkbaar met een "underhung

Kleine luidsprekers die ook een diep doorlopende laagweergave bieden zijn er niet zoveel. Tenslotte moet een luidspreker veel lucht kunnen verplaatsen om lage frequenties weer te geven. Veel conusoppervlakte is bij een boekenplank luidspreker, door zijn beperkte afmetingen, echter uitgesloten. Bij de Extremon is gekozen voor een andere oplossing, zodoende is een kleine kast toch in staat een indrukwekkende laagweergave neer te zetten.

motor" (korte spreekspoel in een lange luchtspleet) waarbij de kracht van het magneetveld over het grootste deel van de slag behouden blijft, maar met veel minder materiaal gebruik – hierdoor kunnen de kosten van de woofer aanzienlijk worden verkleind en kan een compacte motor worden gebouwd. Een normale woofer met dezelfde slag zou een poolplaat dikte moeten hebben van enkele centimeters of moeten worden uitgerust met een lange en dus zware spreekspoel. De lineaire slag van deze woofer bedraagt een ongelofelijke +/-13-mm met



Foto 1. De drivers en filter onderdelen van de Extremon.

een maximale slag van +/-15-mm, dus 30-mm piek-piek. Dit soort cijfers kom je normaal alleen tegen bij grote subwoofers en niet bij een midwoofer met een doorsnede van 'slechts' 17-cm.

Verdere eigenschappen van de woofer zijn het gebruik van koperen ringen in de spreekspoel en een laag koper om de T-vormige poolkern wat resulteert in een zeer lage inductie van de spreekspoel van 0,13mH waardoor het bereik naar boven toe ver doorloopt wat de combinatie met allerlei tweeters vergemakkelijkt. De exponentieel verlopende conus is gemaakt van polypropyleen wat bijdraagt aan een rustig verloop zonder opbreekverschijnselen bij hogere frequenties en is opgehangen in een butyl rubberen rolrand.
Het afgeschermde neodymium magneetsysteem is heel compact gehouden om reflecties aan de achterzijde van de driver tot een minimum te beperken, de midwoofer "ziet" de magneet als het ware minder dan bij een conventionele ferriet magneet. Dit alles wordt bij elkaar gehouden door een gegoten aluminium chassis voorzien van een viertal bevestigingsgaten. Dit hadden er wat mij betreft meer mogen zijn want bij het aantrekken van de schroeven heeft het chassis de neiging iets krom te trekken. Zes of acht schroefgaten was beter geweest – niets staat de zelfbouwer echter in de weg om er zelf een aantal bij te boren natuurlijk.

L1	0,47 mH luchtspoel 1,4mm draad; R = 0,19 W
L2	1,80 mH luchtspoel 2,0mm draad; R = 0,25 W
C1	10mF Mundorf M-Cap of Clarity Cap PX
C2	10mF Mundorf M-Cap of Clarity Cap PX
C3	5,6mF Mundorf M-Cap of Clarity Cap PX
R1	6,60 ohm koolfilm (5x 33 ohm / 1 watt parallel)
R2	4,13 ohm koolfilm (8x 33 ohm / 1 watt parallel)
R3	15 ohm koolfilm (10x 150 ohm / 1 watt parallel)

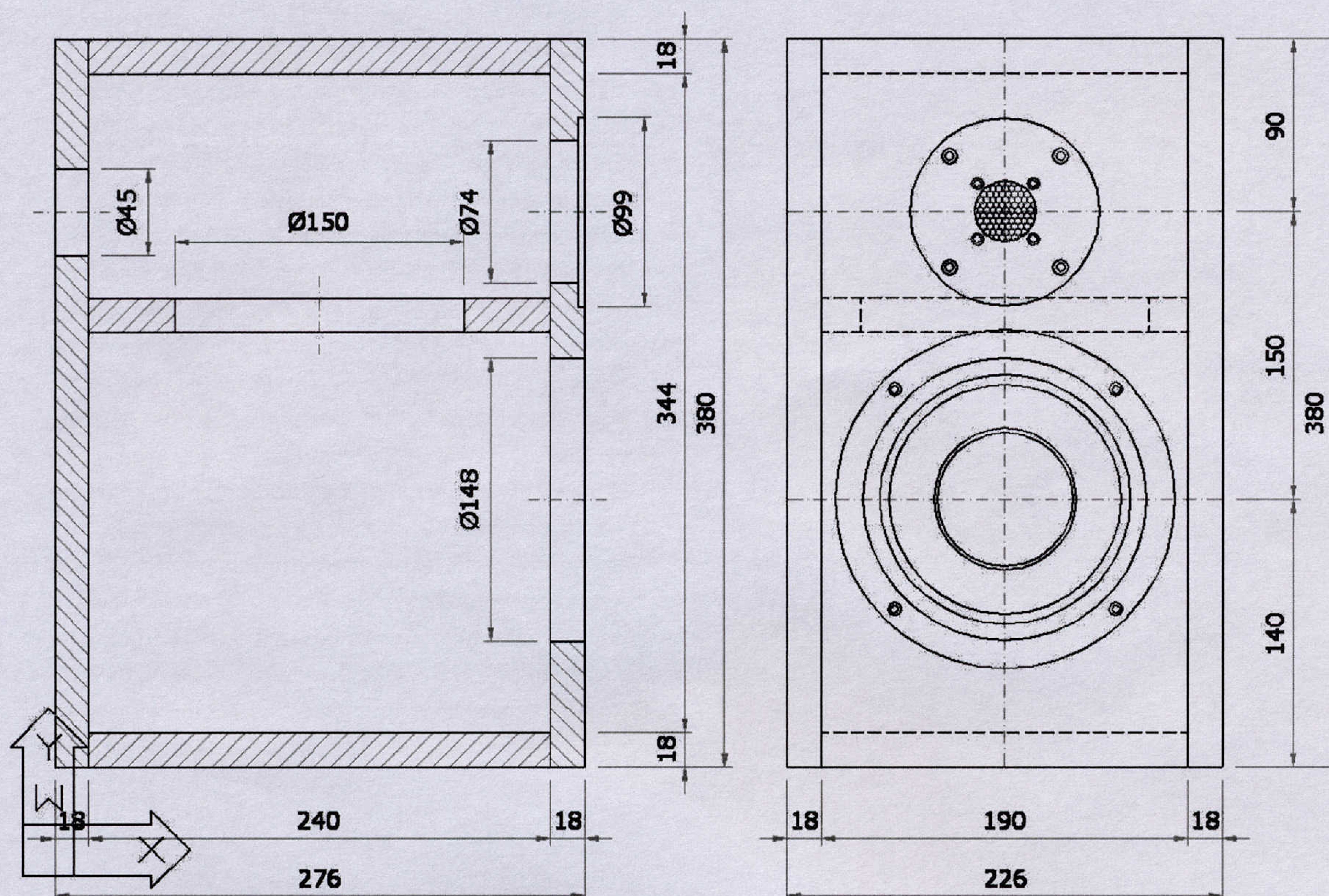
*Alle condensatoren dienen te worden overbrugd door een kleine Styroflex of Vishay MKP1837 bypass condensator van tussen de 0,010mF en 0,047mF.

Lange slag tweeter

Op het eerste gezicht lijkt de Seas 22TAF/G/H1283 tweeter wel op een miniatuur subwoofer; de gecoat textiel ophanging is in verhouding met het membraan gigantisch. Maar in werkelijkheid is het geen lange slag tweeter, de korte spreekspoel in een 2-mm lange luchtspleet heeft een slag van slechts 0,5-mm piek-piek. De grote rolrand is waarschijnlijk gekozen om de harde aluminium/magnesium dome een rustig karakter mee te geven. Bij deze tweeter is in ieder geval totaal geen spoor van "hardheid" in het geluid te herkennen. Seas zelf spreekt ook van een combinatie van de het hoog frequent gedrag van een 19-mm dome met het laag frequent gedrag van een conventionele 25-mm dome. Heel mooi is het feit dat gekozen is voor een ferrofluid met een lage viscositeit in tegenstelling tot de stroperige soorten die Seas vroeger veel toepaste. Een "dunne" ferrofluid geeft weliswaar een hogere piek bij de resonantie frequentie van de tweeter (in dit geval bij 1100Hz), maar "remt" de spreekspoel, die erin heen en weer moet bewegen, minder. Meestal heeft dit een iets transparantere weergave tot gevolg. Ferrofluid met een dunne viscositeit stelt wel hogere eisen aan de mechanische productie toleranties van de tweeter, maar bij Seas kun je erop vertouwen dat dat wel goed zit.

Weinig houtwerk

Het voordeel van een kleine kast is dat er betrekkelijk weinig timmerwerk hoeft te worden verricht om de kast in elkaar te zetten. Op de bouwtekening is te zien dat de kast is opgebouwd uit slechts zes rechthoekige MDF panelen en een tussenschot. Het tussenschot is voorzien van een ronde uitsparing. Met enkele lijmklemmen kunt u de kastjes bij wijze van spreken in de huiskamer in elkaar zetten. De demping van het kastje bestaat uit het bekleden van alle binnenwanden, op het frontpaneel na, met 4-mm dik zelfklevende bitumen platen – bijvoorbeeld Intertechnik Bitumex. Bovendien worden de achterwand, de bodem en deksel nog bekleed met noppenschuim (Intertechnik Pritex of Tyrotex/Monacor MDM-40) met een hoogte van circa 4-cm. Als laatste wordt de kast nog losjes gevuld met dempingswatten. Goede resultaten werden geboekt met Monacor MDM-3 wat voor driekwart bestaat uit schapenwol, de rest uit polyester. Eén pak MDM-3 is daarbij voldoende voor het vullen van twee luidsprekers. De matten worden losjes opgevouwen en in het midden van de kast geplaatst. De basreflexpoort is afgestemd op een lage 34Hz, hiervoor kunt u bijvoorbeeld een telescopische Monacor MBR-35 poort gebruiken. Deze heeft een inwendige doorsnede van 35-mm en dient ingesteld te worden op een lengte van 132-mm.



Filteren

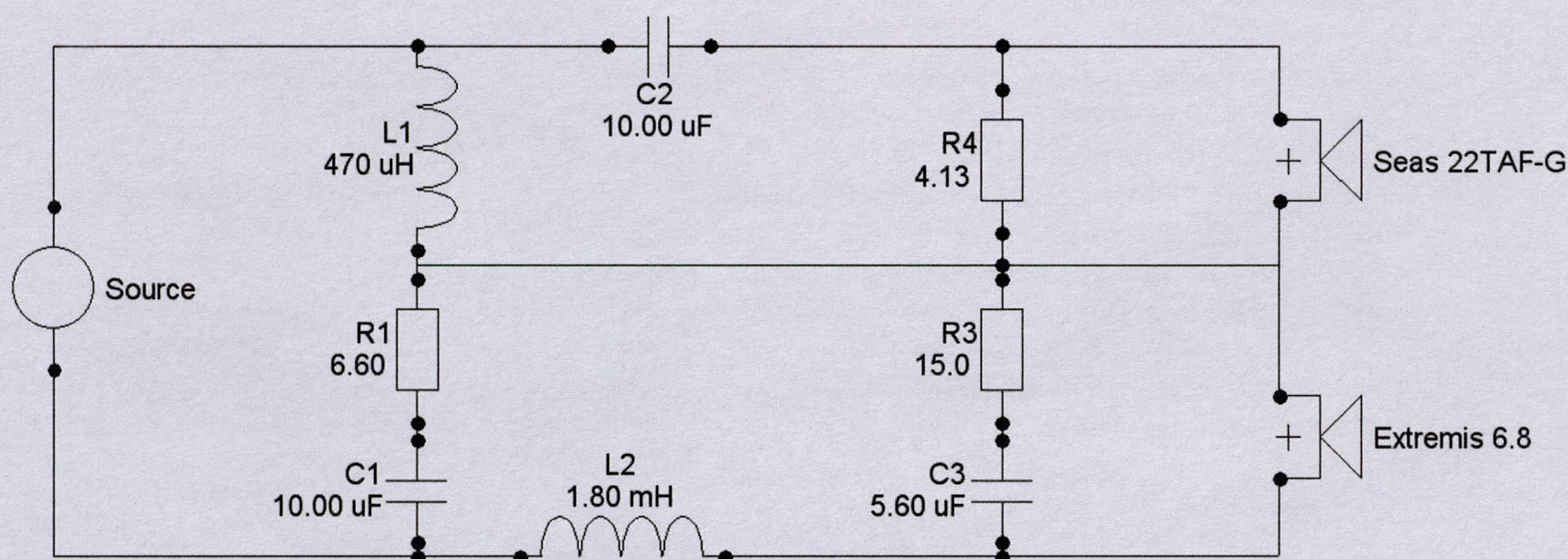
Normaliter wordt een aantal condensatoren, spoelen en weerstanden voor iedere driver opgenomen die slechts een bepaald frequentiegebied doorlaten en eventueel voor een (frequentie- en/of impedantie-) correctie van de luidspreker zorgen, deze manier van filteren staat bekend als een parallel filter. Er zijn echter ook filterconstructies waarbij de drivers in serie worden geschakeld en dan gecombineerd met enkele filtercomponenten, zodat elke driver ook deel uit maakt van het filter van de andere driver. Een dergelijk serie filter biedt enkele theoretische voordelen. Zo blijft de totaal afgestraalde energie van beide luidsprekers over het hele weergavegebied vrijwel constant, treden er gewoonlijk minder fase problemen op en zijn de verkregen filterhellingen iets steiler dan bij een parallel filter van dezelfde orde (bij een tweede-orde filter bijvoorbeeld 15dB/oktaaf i.p.v. 12dB/oktaaf).

In dit geval is een tweede-orde serie filter toegepast. De Extremis 6.8 midwoofer wordt bij circa 1750Hz begrensd door L1, L2 en C1. Vanaf dat punt neemt de 22TAF/G tweeter het over via C1, C2 en L1. De componenten L1 en C1 worden bij deze configuratie dus voor beide luidsprekers gebruikt. De nivo aanpassing van de tweeter wordt verzorgd door de weerstanden R1 en R2, R2 zorgt tevens voor het vlaktrekken van de impedantie van de tweeter zodat het filter optimaal functioneert. De condensator C3 en de weerstand R3 hebben een corrigerende werking voor zowel de impedantie curve als de frequentie curve van de woofer.

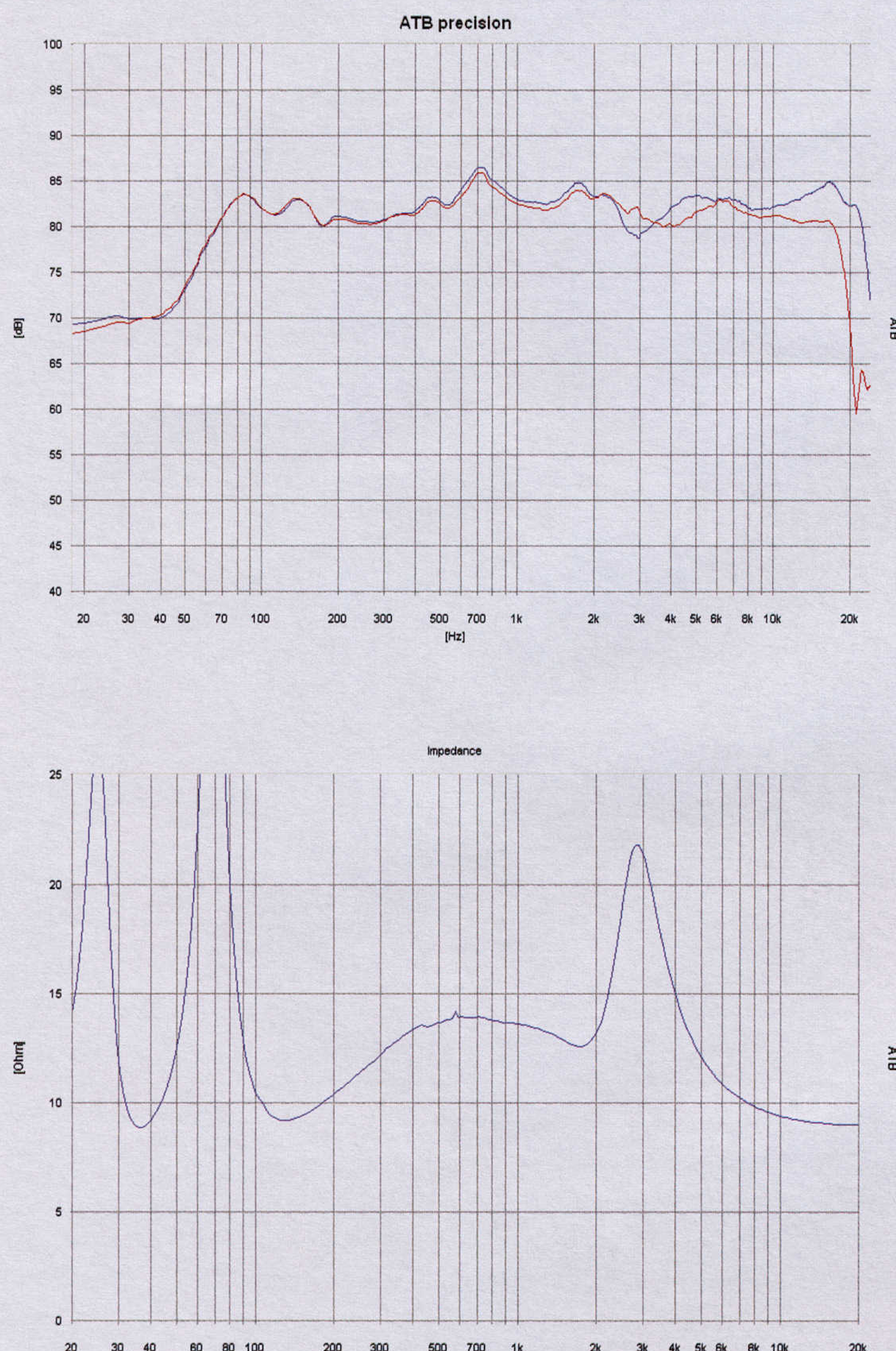
Figuur 1.
Bouwtekening Extremon.

Luisteren

Na deze luidspreker uitgebreid te hebben beluisterd kunnen we concluderen dat de Extremon een speaker is die voor een bescheiden prijs een bovengemiddelde



Figuur 2.
Filterschema Extremon.



Figuur 3.
Frequentie curve
Figuur 4.
Impedantie curve

geluidskwaliteit produceert, de prijskwaliteit verhouding is bijzonder goed te noemen. Wat als eerste opvalt is, zeker gezien de bescheiden buiten afmetingen, de diepe laagweergave. Het is werkelijk verrassend wat een laag er uit deze luidsprekers komt, niet te zwaar maar wel voldoende diep als de opname er om vraagt. Een andere positieve eigenschap van deze speaker is de goede balans tussen rust en detail, het is een rustige weergever die geen enkel detail verloren laat gaan. Deze mooie balans is niet bij elke speaker een vanzelfsprekendheid. Wat ons verder opviel bij de Extremon was de ruimtelijke weergave; links/rechts, voor/ achter, de plaats van de individuele instrumenten van een orkest is gemakkelijk te vinden. Als we dan toch een kritische noot moeten plaatsen (en dan moeten we hard zoeken bij de Extremon) dan hadden we een tikje meer druk willen hebben in de hogere bassen, een basdrum heeft wel de nodige diepte maar mist bij sommige opnames het "buikgevoel". Mogelijk is dit te wijten aan het gebruik van een polypropyleen conus die in het algemeen iets bescheidener te werk gaat dan een harder conus materiaal zoals aluminium bijvoorbeeld.

Meten

De metingen aan deze luidspreker leverden een vrij vlakke frequentie curve op met een lichte voorkeur voor het middengebied. De tweeter lijkt qua niveau iets onder die van de woofer te liggen, maar daar was tijdens de luistersessies niets van te merken. Mogelijk dat de enorme rust die de speaker uitstraalt hierdoor gedeeltelijk te verklaren valt. Rond de 200Hz is de speaker iets terughoudend wat overeenkomt met onze impressie van een tikje te weinig "druk". Bij de impedantie curve zijn goed de twee pieken in het laag te zien die worden veroorzaakt door de poort/kast combinatie. De bult bij 2500Hz wordt veroorzaakt door het scheidingsfilter. De impedantie blijft behoorlijk hoog en komt nergens beneden de 9 ohm. Een stroomvreter is dit ontwerp dus zeker niet al dient de versterker wel over voldoende vermogen te beschikken gezien het lage rendement van gemiddeld rond de 81,5dB. Twee keer 50 Watt aan 8-Ohm lijkt ons een minimum voor de gemiddelde huiskamer.



Naam:	Extremon
Principe:	tweeweg basreflex-systeem
Ontwerp:	Tony Gee
Website:	http://www.humblehomemadehifi.com
Email:	humblehomemadehifi@gmail.com
Woofer:	Adire Audio Extremis 6.8
Tweeter:	Seas 22TAF/G/H1283
Scheidingsfilter:	1750Hz, 15dB/oktaaf
Afmetingen:	380x226x276mm (hxbxd)
Netto inhoud:	15-liter
Belastbaarheid:	50 Watt
Prijs bouwkit:	€ 200,- per stuk (drivers + scheidingsfilter)



HIGH-END

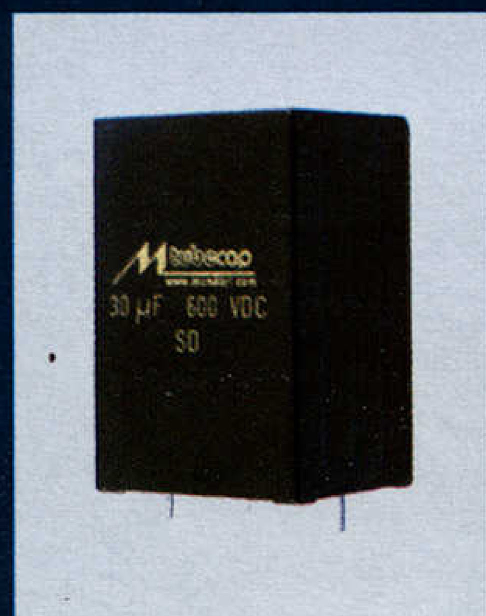


MUNDORF®

High End Components Made In Germany Since 1985



MCAP RXF (Radial Extra Flat)
Geoptimaliseerde wikkeltechniek voor een zo kort mogelijke signaalweg
Minder microfonie gevoelig
Grote interne contactvlakken
Extreem lage inwendige weerstand (ESR)
Zeer geringe inductie (ESL)
Extreem compacte uitvoering

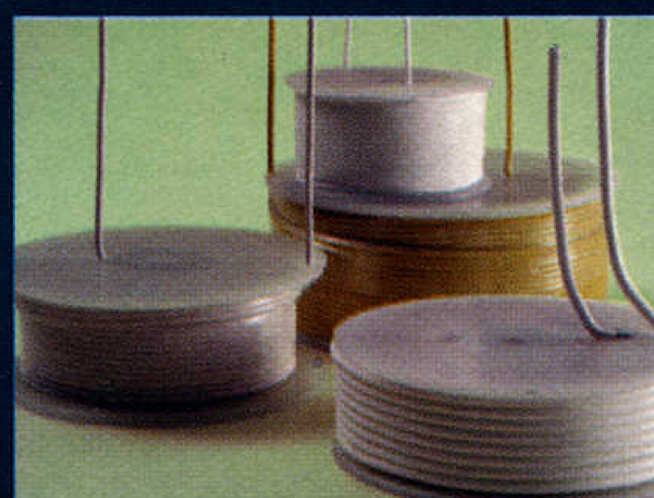




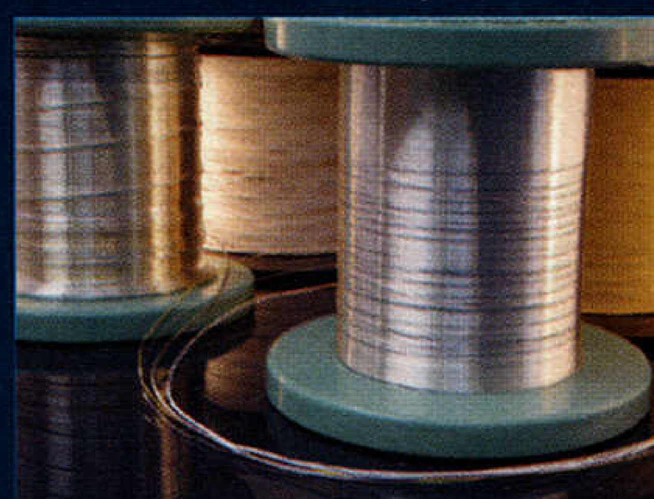
TUBECAP
Zeer compacte hoogspanning condensator met lage inwendige zelfinductie.
Volgens de nieuwste extreem dunne polypropyleen technieken waarmee de zelfherstellende eigenschappen nog eens verder zijn verbeterd.



MCAP SUPREME SILVER/GOLD "Cap of the year 2005"
Leest U op www.humblehomemadehifi.com over de Cap test waarin 20 condensatoren worden getest op gehoormatige basis: De MCap Supreme Silver Gold op de tweede plaats met op de derde en vierde plaats respectievelijk de MCAP Silver Oil en de Mcap Supreme.



SILVERGOLD LUCHTSPOELEN
Lucht spoel gewikkeld van silverGold draad.



SILVERGOLD DRAAD
We bieden onze Solid-core-Kabel aan in diameters van 0,5, 1.0 en 1.5mm voorzien van Teflon isolatie. Ideaal voor interne bedrading van scheidingsfilters, versterkers of het zelf maken van interlinks en speakerkabel. Tevens verkrijgbaar koperfolie om eigen kabels te maken – leverbaar in diverse breedtes en kwaliteiten.



MSOLDER SOLDEER
Dit soldeer waarbij in de legering zilver en goud zit is speciaal bedoeld om de goede klank eigenschappen van de silverGold componenten maximaal tot hun recht te laten komen.

COMPONENTEN

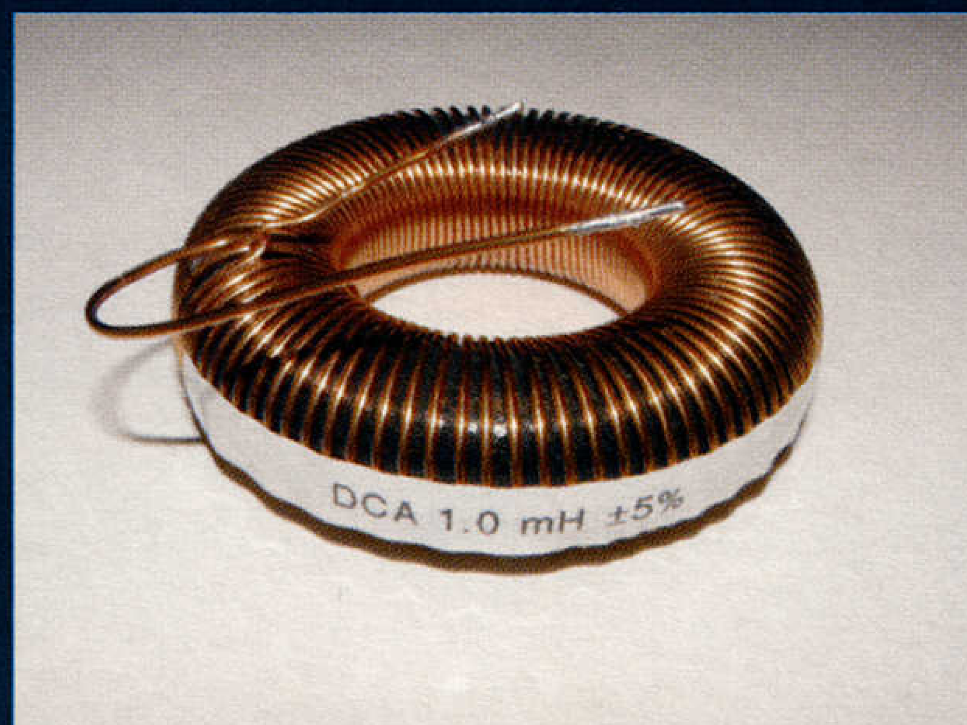
VERKRIJGBAAR BIJ DE AUDIOFABRIEK

DUELUND COHERENT AUDIO

Duelund Coherent Audio fabriceert de ontwerpen en producten van Mr. Steen Aage Duelund. Deze producten zijn het resultaat van levenslange toewijding aan het ontwerp van audiocomponenten. Bepalende factoren daarbij zijn de nadruk op fasegelijkheid en het exclusieve gebruik van diamagnetische materialen waar mogelijk.



RESISTORS
Tot dusver werd de resistor altijd beschouwd als een noodzakelijk kwaad, een onmisbaar ding dat wordt verguisd om z'n negatieve invloed op de natuurgetrouwheid van het signaal. Hier komt verandering in met de nieuwe resistor van Duelund Coherent Audio. Bij het ontwerpen van deze component was de doelstelling om de spreekspoel van de speaker en de resistor te zien als één geheel in plaats van twee aparte eenheden. Het resultaat is een resistor die niet tot nauwelijks een eigen geluid heeft waardoor de drivers optimaal hun werk kunnen doen. Standaardwaarden 0,47 ohm - 50 ohm, andere waarden beschikbaar op aanvraag.

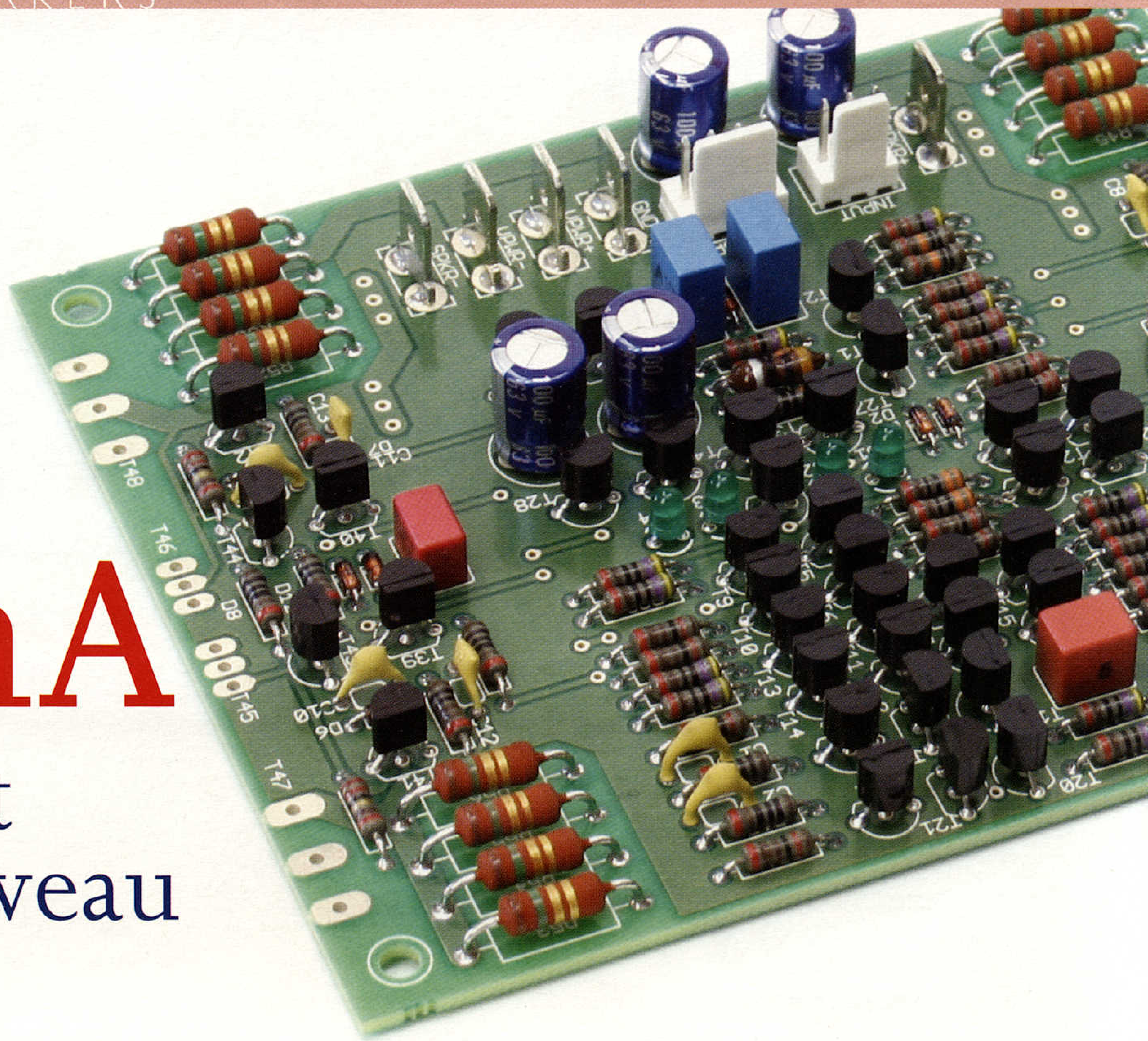


TOROID INDUCTORS
Ons doel was een kern van speciale materialen te ontwikkelen om het probleem van hysteresis en verzadiging op geheel nieuwe wijze te benaderen. Deze spoelen zullen uw speakers transformeren als ze worden gebruikt in combinatie met de middenbereik- of basdrivers van uw speakers. Bovendien kunnen de inductors naast elkaar worden geplaatst zonder dat dit hun prestaties nadelig beïnvloedt.



VIRTUELE STACK-FOLIECONDENSATOR
De virtuele stack-foliecondensator is speciaal ontwikkeld voor luidsprekercrossovers. Deze nieuwe condensator is de realisatie van een levenslange ambitie. Hij bestaat uit aluminium-, koper- of zilverfolie en papier met hoge dichtheid, gedrenkt in puur minerale was, voorzien van een coating met puur coconzijde en vervolgens behandeld met speciale laksoorten van natuurlijke materialen. Het is zonder twijfel een 'groen' product. De condensator is ontwikkeld onder leiding van Mr. Steen Duelund, hoofdengineer van Duelund Coherent Audio. Mr. Duelund heeft de speciale eigenschappen van de condensator gedicteerd, zoals z'n gelijkmatigheid, waardoor de stack-folie de gelegenheid krijgt te werken met een zeer lage inductie, en een solide blok te vormen, hetgeen resulteert in een vorm die vrij is van interne resonanties. Bovendien maakt de gelijkmatigheid het makkelijker om grotere waarden te bereiken door de condensatoren parallel te schakelen. Het audiofiele vocabularium bevat talloze woorden die proberen de geluidskwaliteit van apparatuur en componenten te beschrijven: Direct, helder, harmonisch authentiek, gedetailleerd, plastisch, ongekleurd, enzovoort. Hoewel deze condensator zonder problemen aan de belofte van al deze woorden voldoet, verwoordt geen ervan het geluid dat deze component mogelijk maakt. Dat doet slechts één woord: Natuurlijk
Als beste getest op www.humblehomemadehifi.com

Wateringweg 147 | 2031 EG Haarlem | t: +31235266531 | f: +31235266538 | www.deaudiofabriek.nl | info@deaudiofabriek.nl



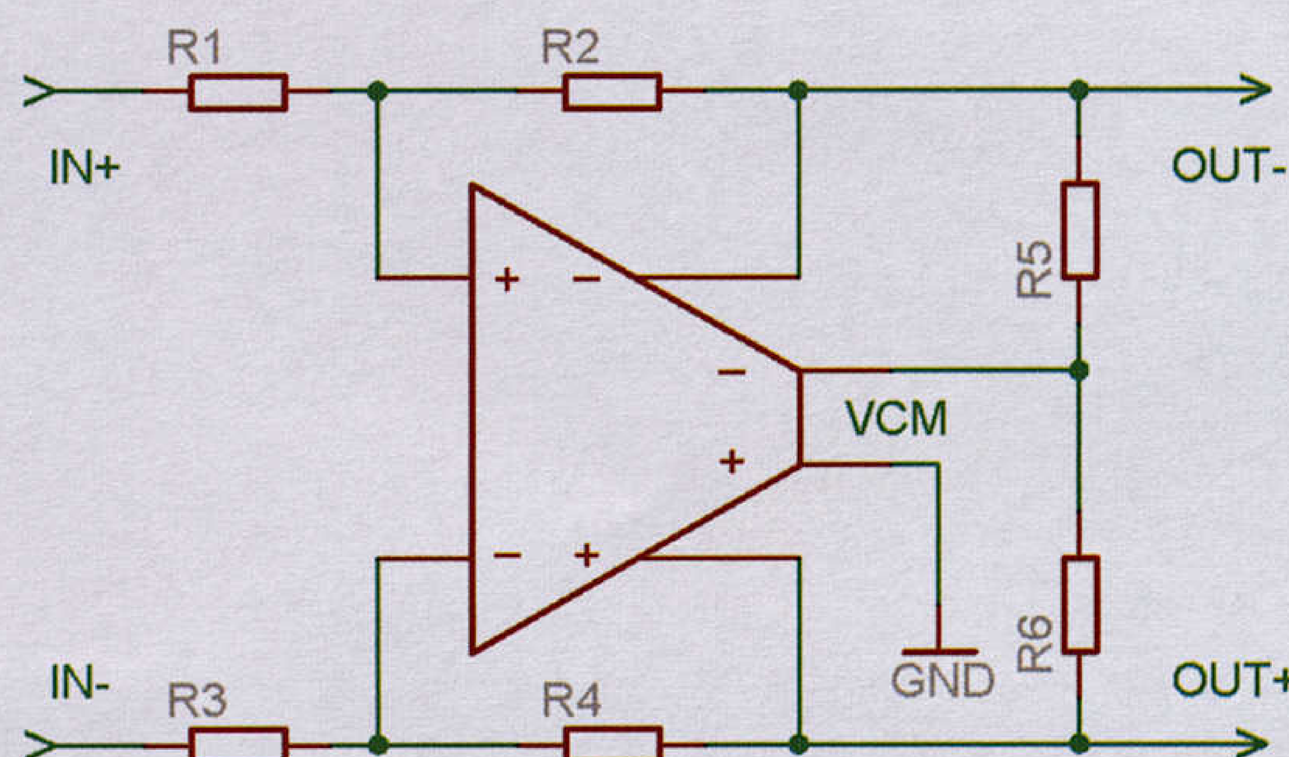
ExtremA

Klasse-A op het allerhoogste niveau

DOOR SANDER SASSEN EN BRUNO PUTZEYS

Halfgeleiderversterkers heb je in allerlei klasses, maar het gros ervan valt onder de noemer klasse-AB, waarbij de versterker bij hogere vermogens in klasse-B bedrijf werkt. De hier gepresenteerde versterker is in staat om maar liefst 100-watt in klasse-A te leveren met een welhaast onmeetbaar lage vervorming en een zeer grote bandbreedte.

Vooral bij muziekliefhebbers zijn klasse-A versterkers nog steeds erg geliefd door de veel lagere vervorming dan met klasse-AB versterkers mogelijk is. De zelfbouwontwerpen voor een echt compromisloze klasse-A versterker zijn echter dun gezaaid. De vraag is dus of er behoefte is aan een dergelijke versterker tussen alle 'goed klinkende' maar minder goed metende versterkers die door de jaren heen de revue zijn gepasseerd. Zoals de diverse kritieken in vakbladen ruimschoots hebben aangetoond hebben al deze versterkers een eigen karakter, onder andere debet aan hun vervormingsspectrum. Kortom, hoog tijd om eens een ontwerp te presenteren voor een écht goed metende versterker zonder eigen karakter die feitelijk doet wat men van iedere versterker verlangt: versterken zonder zelf iets aan de weergave toe te voegen.

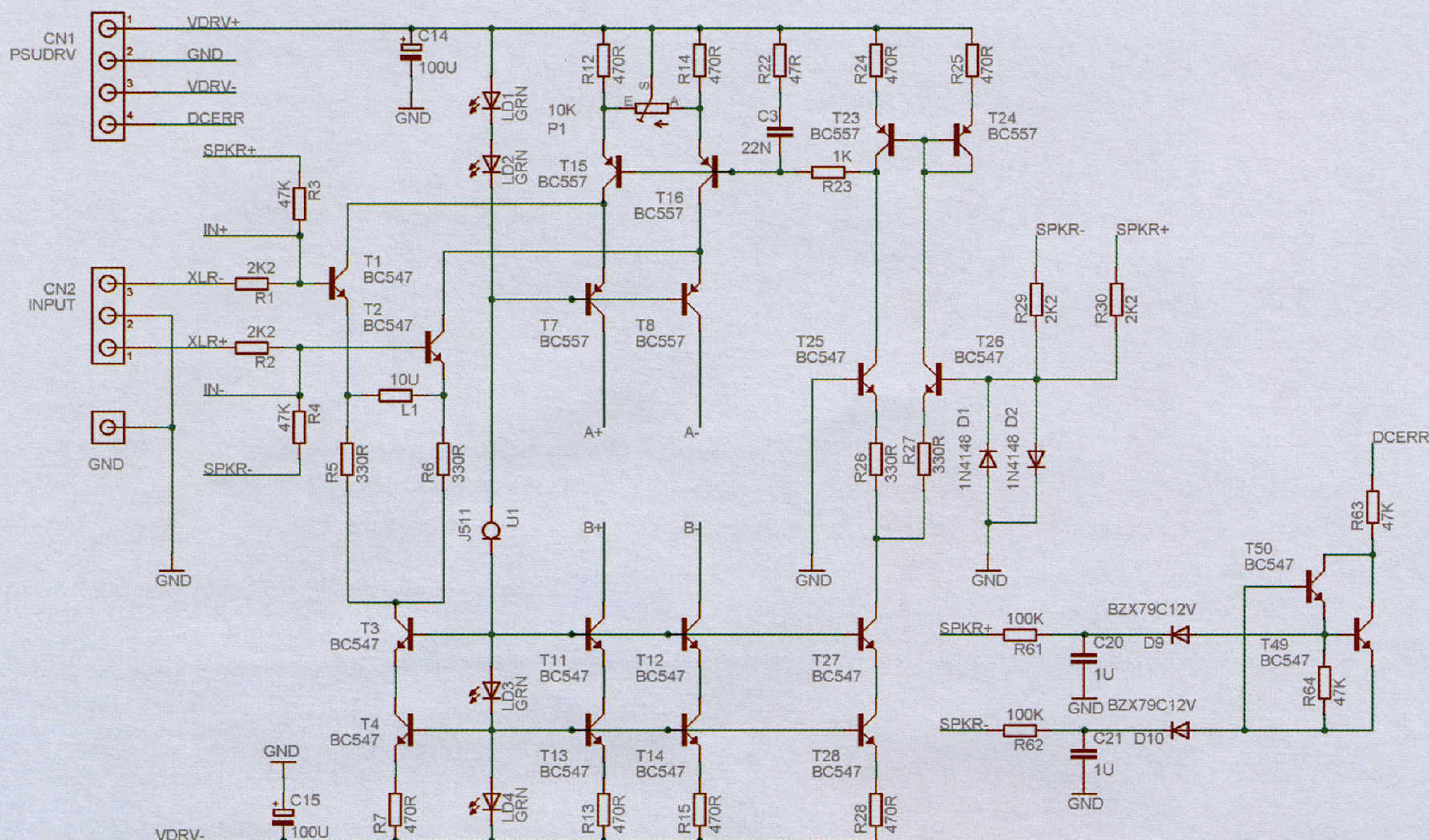


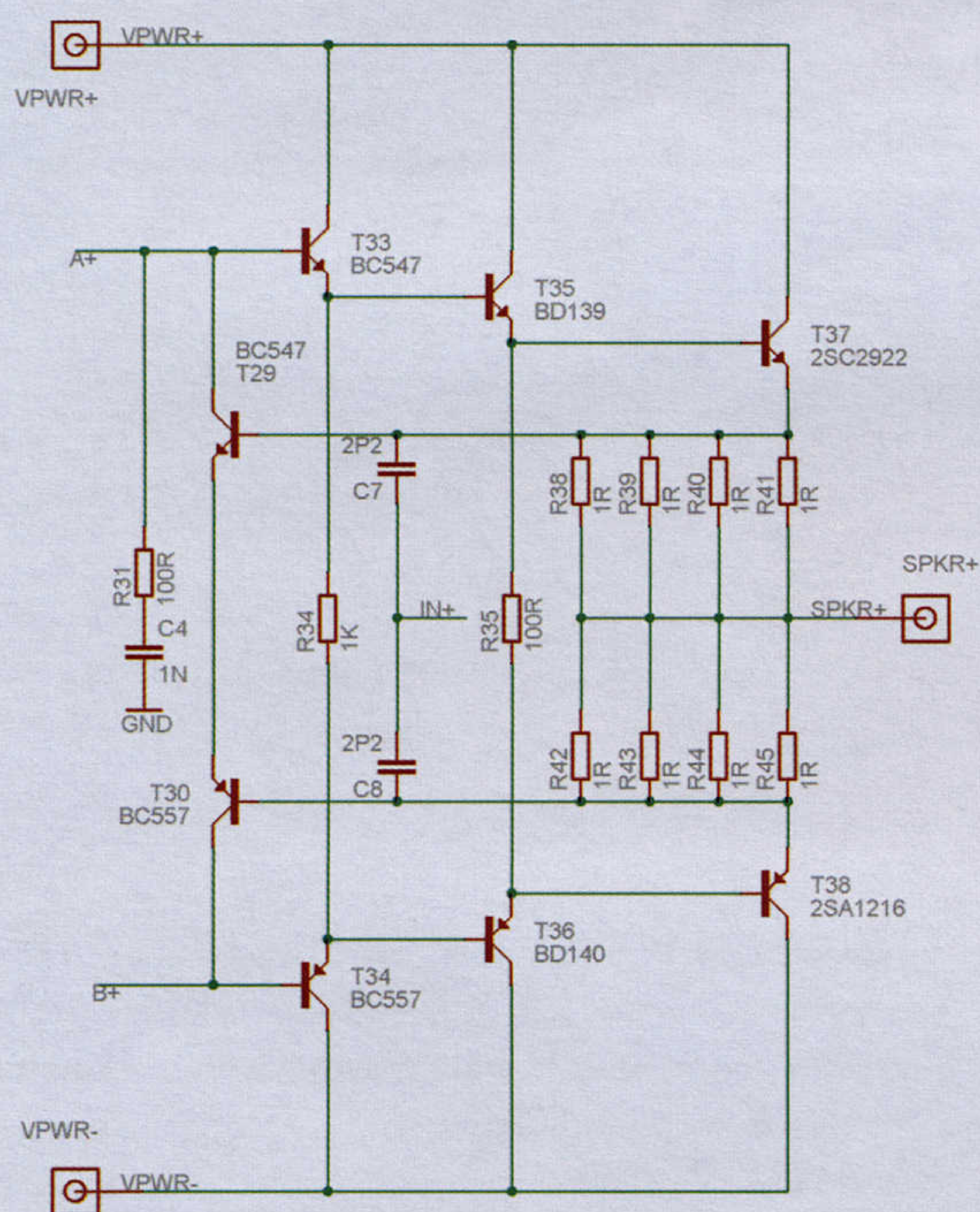
Figuur 1: Principeschema gebalanceerde opamp

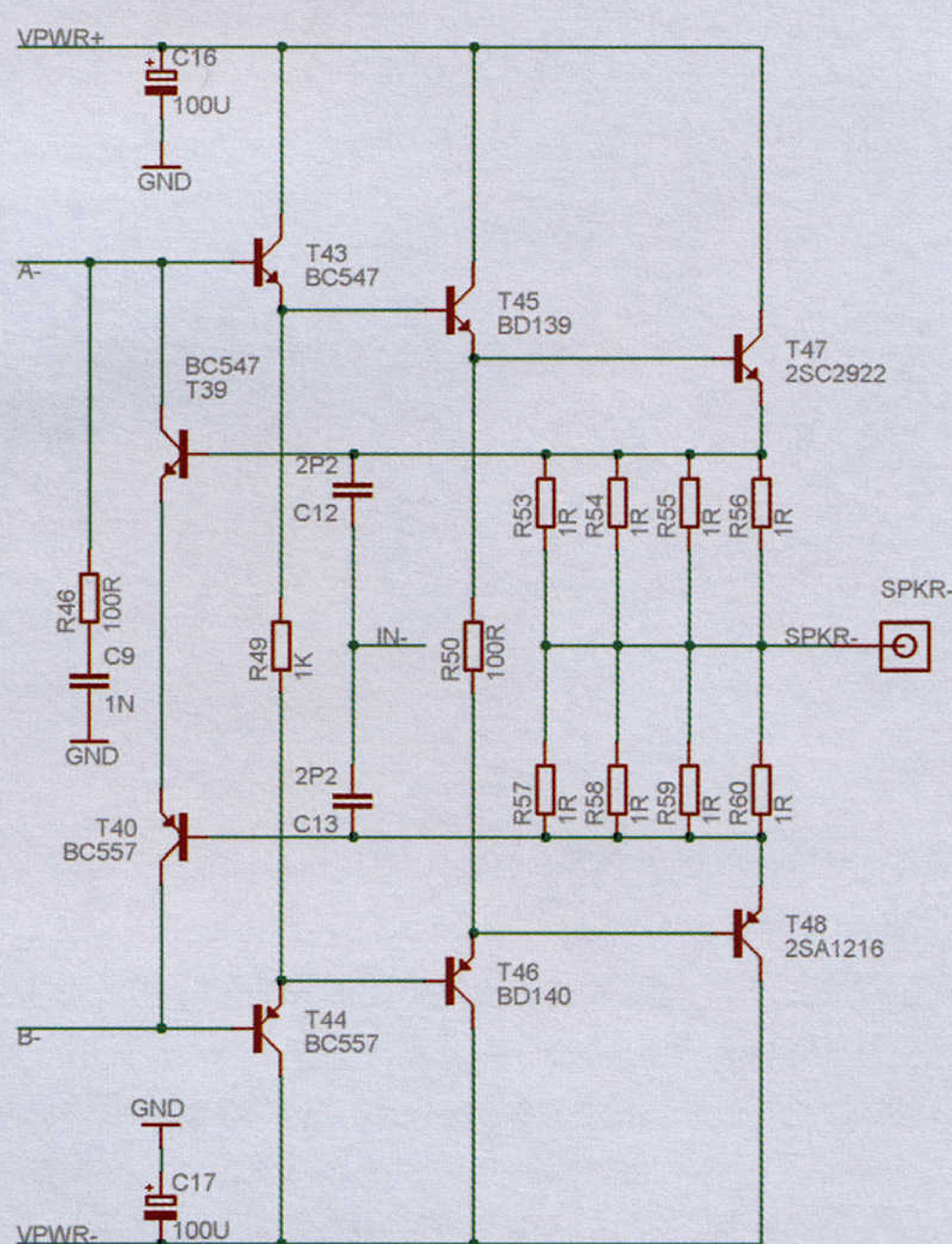
Klasse-A of B?

Door de bank genomen zijn er voor de eindtrap in een transistor versterker feitelijk maar twee ruststroominstellingen die een voldoende lage vervorming garanderen. De eerste is een geoptimaliseerde klasse-B waarbij de ruststroom precies zó gekozen wordt dat de eindtransistoren bij afwezigheid van een ingangssignaal juist voldoende in geleiding zijn om cross-over vervorming te minimaliseren. Bij de juiste ruststroomkeuze blijft de uitgangsweerstand en dus de versterking nagenoeg constant. Volgens dit principe fungeren de meeste zogenaamd "klasse-AB" versterkers. De andere instelling is klasse-A, waarbij de eindtransistoren flink open worden gestuurd en afhankelijk van het gebruikte principe klasse-B bedrijf pas mogelijk wordt als de te leveren emitterstroom groter wordt dan de ruststroom. Deze ruststroominstelling levert betere resultaten binnen het klasse-A bedrijf maar helaas beduidend slechtere in het klasse-B bedrijf.

Voor dit ontwerp is gekozen voor klasse-A bedrijf, omwille van een drietal redenen. Allereerst kunnen we er bij geoptimaliseerde klasse-B eindtrap niet van uitgaan dat deze altijd op het optimale instelpunt blijft staan. Vooral een snelle modulatie van de temperatuur van de eindtransistoren, veroorzaakt door een sterk wisselende dynamische belasting, zorgt hier voor problemen. De gevolgen hiervan zijn niet gelijk zichtbaar te maken met een meting van de totale harmonische vervorming, maar een meting van de intermodulatievervorming zal hier





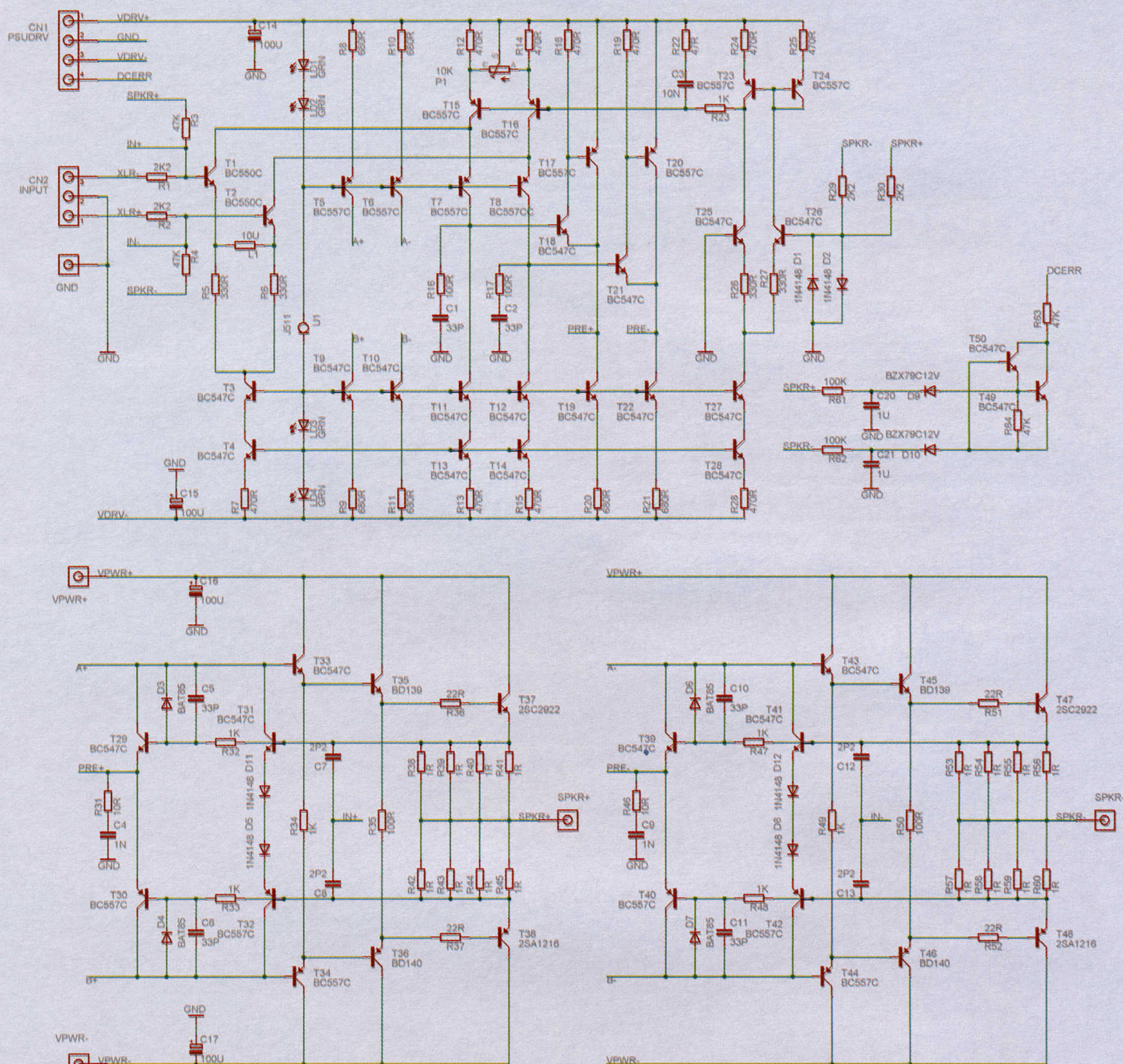


Figuur 2: Schema autobias schakeling

wel degelijk een stijging te zien geven. Ten tweede zal de vervorming van de optimale klasse-B eindtrap misschien laag zijn, maar vooral uit hogere harmonischen bestaan. Ten derde is een eindtrap met klasse-A instelling minder gevoelig voor vervorming die ontstaat door magnetische koppeling van stromen in de eindtrap met de ingangstrap, waardoor het behaalde resultaat ook bij nabouw gegarandeerd blijft.

Transistoren

De opzet van de hier gepresenteerde versterker is gebaseerd op gangbare transistoren zoals de BC550C en de BC547C/557C. Waarom kiezen we hier niet voor Japanse transistoren zoals bijvoorbeeld de 2SA970? Deze transistoren onderscheiden zich voornamelijk door een combinatie van een lage ruisbijdrage, hoge maximaal toelaatbare collectorspanning en zeer constante Hfe. We hebben echter in dit geval geen van deze eigenschappen nodig, In ieder goed ontwerp wordt de ruis namelijk in hoofdzaak door de ingangstransistoren en het terugkoppelnetwerk bepaald. Daar de terugkoppelweerstanden niet te laagohmig mogen zijn, zal hier met zekerheid de ruisbijdrage van deze weerstanden domineren. De hoge collectorspanning is ook niet van wezenlijk belang, de voedingsspanning van de versterker is namelijk laag en de eindtrap is in brug geschakeld zodat we makkelijk uit te voeten kunnen met 60V transistoren. Het ontwerp is verder nauwelijks gevoelig voor de Hfe van de gebruikte transistoren. Alleen bij de ingangstrap heeft het nut om de transistoren te paren.



Figuur 3: Schema uiteindelijke versie

Voor de aansturing van de eindtrap zijn de klassieke BD139/BD140 transistoren toegepast. Deze transistoren zijn voor dit soort toepassingen vrijwel onverslaanbaar. Alleen de eindtrap vereist omwille van de snelheid en de toelaatbare dissipatie een tweetal wat exotischer transistors. Hiervoor gebruiken we de Sanken 2SC2922/2SA1216 ring-emitters als eindtransistoren, ook deze transistoren worden veelvuldig toegepast in diverse versterkers en staan bekend om hun uitmuntende prestaties. Kortom, ook met gangbare transistoren is een versterker te bouwen met een weergave die voldoet aan de allerhoogste eisen en die dit combineert met een bruikbaar uitgangsvermogen.

Opzet

Er is gekozen voor een volledig DC-gekoppeld ontwerp dat is opgebouwd als een gebalanceerde opamp. De versterker versterkt dus niet de verschilspanning tussen ingang en aarde maar de verschilspanning tussen beide ingangen, we spreken dan ook van een verschilingang. Op die manier is aarde geen referentie meer voor het ingangssignaal en is de versterker vrijwel ongevoelig voor aardlussen. Er is ook voorzien in een regeling die de gemeenschappelijke (common mode) spanning van de uitgangen regelt. Op zich is het niet noodzakelijk om de uitgangen perfect symmetrisch te houden (uiteindelijk telt alleen het verschil) maar om op beide uitgangen dezelfde uitstuurbaarheid te garanderen is symmetrie toch wel geweest. Daarom wordt de gemeenschappelijke spanning op nul geregeld. Doordat het ontwerp volledig gebalanceerd is uitgevoerd, is de versterker uiteraard ook voorzien van een verschiluitgang in de vorm van twee identieke eindtrappen die in brug geschakeld zijn. Bijkomend voordeel is uiteraard dat de vereiste voedingsspanning voor een gegeven uitgangsvermogen gehalveerd wordt, wat de transistorkeuze vergemakkelijkt. Het is ook een pluspunt omdat we hierdoor de dissipatie van de eindtrap over vier eindtransistoren kunnen spreiden. De keuze voor een volledig DC-gekoppeld ontwerp voorkomt dat eventuele koppelcondensatoren het klankkarakter van de versterker zouden gaan bepalen.

Ontwerp

De uiteindelijke versterker is opgedeeld in een voortrap en twee identieke eindtrappen. Deze tweedeling is het

resultaat van een eerste poging om de eindtrap rechtstreeks te koppelen aan het hoogimpedante punt van de stuurtrap met gevouwen cascode. Het resultaat daarvan was echter te sterk afhankelijk van de lineariteit van de eindtransistoren en daarom werd deze insteek al snel opzij gelegd voor een versie met gescheiden voor- en eindtrap, waarbij de eindtrap ook nog eens van plaatselijke terugkoppeling werd voorzien. Maar voordat we op de zaken vooruit gaan lopen laten we eerst eens naar de eenvoudige versie kijken.

Autobias schakeling

In deze schakeling vormen T1 en T2 het ingangspaar voor het differentiële pad. De weerstanden R5 en R6 lineariseren de transconductantie en leggen er een exacte waarde aan op. Tezamen met de compensatiecondensatoren C4/C9 wordt zo de unity-gain frequentie vastgelegd. L1 zorgt ervoor dat de transconductantie bij lagere frequenties (dit is ruim beneden het unity-gainpunt) met zo'n 10dB verbeterd wordt. Zo ontstaat een lustransfert van tweede orde. De tweede trap is een gevouwen cascode rond T7 en T8. Ter hoogte van de beide emitters worden de collectorstromen van het ingangspaar samengeteld met de uitgangsstroom van de common mode versterker. De compensatienetwerken rond C4 en C9 ronden als triviale transimpedantietrap de voortrap af. De uitgangsimpedantie is erg hoog, enkele mega-ohm in parallel met C4/C9. De instelstroom van de gevouwen cascode doet ook dienst om de eindtrap in te stellen. De eindtrap is een autobias klasse-A schakeling en hoeft zodoende niet afgeregeld te worden. Transistoren T29/T30 zorgen er via de drivertransistoren voor dat de spanning tussen de emitters van T37 en T38 gelijk is aan twee basis/emitterovergangspanningen (~1.3V). Deze spanning ligt daarmee vast, de instelstroom van de eindtrap volgt daar rechtstreeks uit via de emitterweerstanden.

Een aardige bijkomstigheid van deze schakeling is dat wanneer bij voluitsturing de uitgangsstroom twee keer de instelstroom wordt, de spanningsval over de tegenover liggende emitterweerstand nul wordt. Negatief kan hij echter niet worden want de bijbehorende eindtransistor is inmiddels ook stroomloos geworden. De versterker beschikt dus over een ingebouwde overstroombeveiliging die in werking treedt zodra de eindtrap uit klasse-A dreigt te komen. Of dit nu zo'n elegante overstroombeveiliging is valt nog te bezien, want uiteindelijk is clippen nog steeds erger dan klasse AB overgangsvervorming. Effectief is het in ieder geval wel.

Zoals gezegd voldoet deze schakeling toch niet volledig aan de eisen die we eraan stellen, onder andere is de vervorming niet laag genoeg om met deze opzet verder te gaan. Dat is voornamelijk te wijten aan het feit dat de eindtrap een vrij grote belasting vormt voor de erg hoogimpedante stuurtrap. De lineariteit van het geheel wordt zo beperkt door de lineariteit van de stroomversterking van de eindtrap. Helaas blijft deze elegante schakeling steken bij een vervormingscijfer rond de 0.003%.

Plaatselijke terugkoppeling

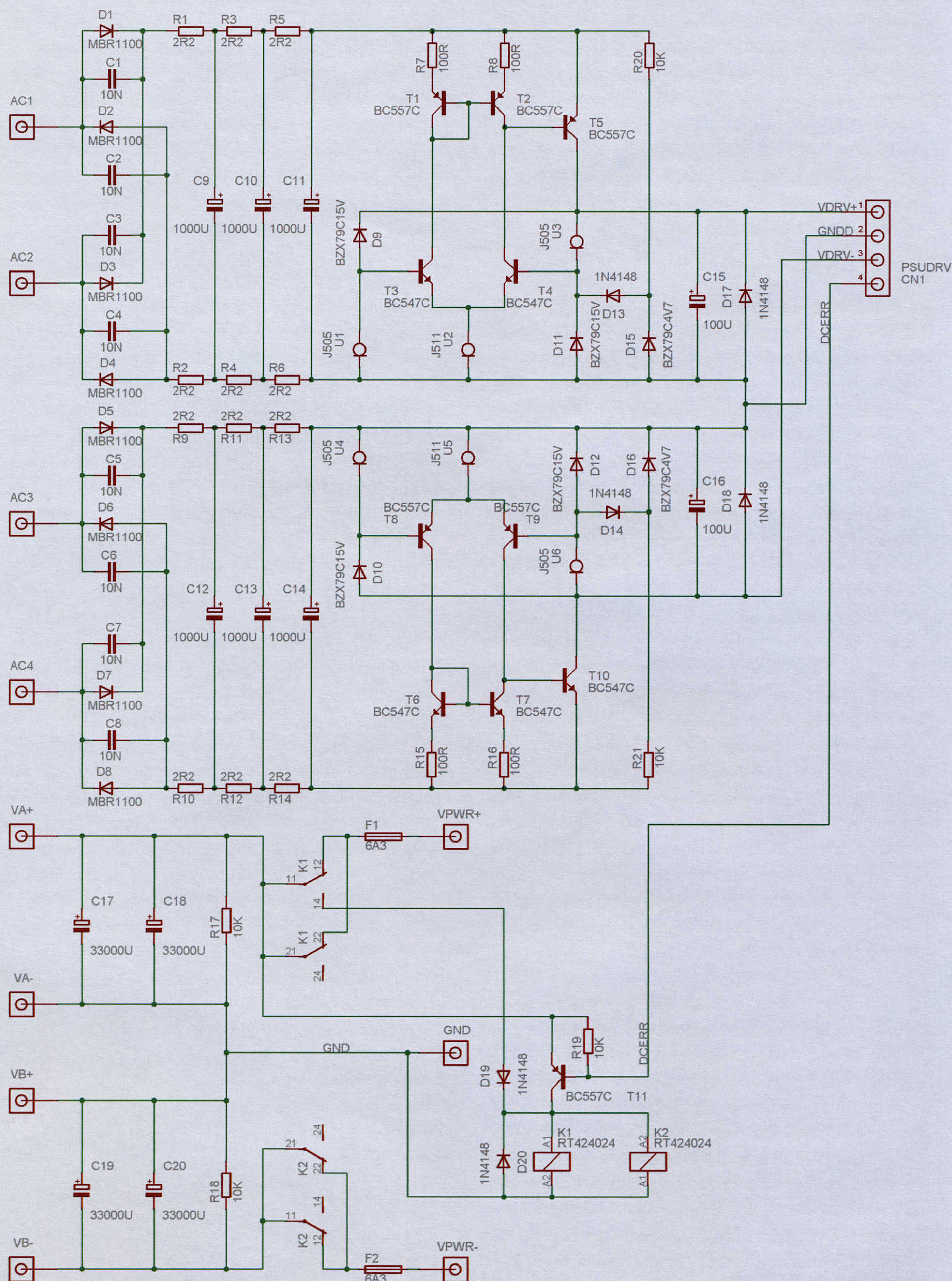
Er zijn vervolgens verschillende methodes van aanpak denkbaar om de vervorming verder te reduceren. In de eerste plaats moet de stuurtrap een veel lagere uitgangsimpedantie krijgen. In de tweede plaats valt er behoorlijk wat winst te behalen door de regellus rond T29/T30 ook te gebruiken voor spanningsterugkoppeling. Als we de stuurtrap van een buffer voorzien en het signaal aan de gemeenschappelijke emitter van T29/T30 aanbieden, slaan we hiermee twee vliegen in één klap.

Transistoren T17/T18 en T20/21 zijn geschakeld als sziklaipaar (complementary feedback pair) en vormen de buffer van de stuurtrap. Er komen ook vier stroombronnen bij (T5, T6, T9 en T10) voor de instelling van T29/T30/T39/T40 omdat de stuurtrap nu slechts over twee spanningsuitgangen beschikt. De lustransfertfunctie van de plaatselijke terugkoppeling rond de eindtrap wordt vastgelegd door R32/R33 en C5/C6. De gegeven waardes zijn voor een overgangsfrequentie van 4.8MHz, iets waar we door de erg snelle eindtransistoren dankbaar gebruik van kunnen maken. Hoger had misschien ook nog net gekund, maar de fasedraaiing van de rest van de lus legt hier beperkingen op.

Bij nader inzien blijkt de versterker nu wel in staat om in klasse-B bedrijf over te gaan. Waar bij de vorige schakeling T29/T30 sámen de instelstroom bepaalden, kunnen ze nu de eindtrap wel verder uitsturen dan twee maal de instelstroom. De stuurtrap levert namelijk stroom aan hun emitters zodat de inherente stroombeperking nu niet meer werkt. Zoals eerder opgemerkt is dit niet zo'n probleem, de bijbehorende vervorming is altijd minder erg dan wanneer de versterker vastloopt tegen de voedingsspanning en dus keihard gaat clippen. Wel is de overgangsvervorming bij deze schakeling beduidend slechter dan die van een eindtrap die ontworpen is voor klasse-B bedrijf. Omdat beide eindtransistoren hun eigen regellus hebben in combinatie met de vrij hoge waarde van de emitterweerstanden zal de overgang van klasse-A naar klasse-B bedrijf wel bijzonder bruusk verlopen.



Figuur 16: Foto bestukte voeding print



Figuur 4:
Schema voeding voor- en eindtrap

Het is dan ook zaak om bij deze versterker niet te bezuinigen op ruststroom, het klasse-B bedrijf is écht alleen maar als extra "headroom" te zien.

Waar we nu wel in moeten voorzien is een overstroombeveiliging, immers er is nu geen sprake meer van een automatisch begrenzen van de uitgangsstroom. Transistoren T31/T32/D5/D11 zorgen ervoor dat de spanning over de emitterweerstanden nooit meer dan ~2.5V kan bedragen. Hiermee komt de maximaal te leveren stroom ongeveer op het viervoudige van de instelstroom. Als er meer stroom gevraagd wordt clipt de versterker. Ook in een DC beveiliging is voorzien. Deze beveiliging grijpt in als er onverhoopt teveel gelijkspanning op de uitgang van de versterker staat. Transistoren T49 en T50 dragen hiervoor zorg samen met een tweetal relais in de voeding die de voedingsspanning resoluut afschakelen als er voldoende DC op de uitgang staat. Maar

al te vaak zien we versterkers waar het beveiligingsrelais in serie met de uitgang van de versterker is geschakeld. Dat is echter absoluut niet veilig, want als het relais opent, zal de stroom die nog door de (inductieve) belasting loopt, ervoor zorgen dat een vlamboog de relaiscontacten definitief aan elkaar vastsmelt. Door het relais in de voedingslijn op te nemen, wordt het door de ontkoppelcondensatoren van de eindtrap enerzijds en de bufferelko's anderzijds capacitief ontkoppeld zodat er geen vlamboog kan ontstaan.

Terugkoppelnetwerk

Een gebalanceerde opamp wordt altijd inverterend gebruikt. Anders gezegd, de ingangstrap van de versterker vormt een zogenaamde virtuele kortsluiting. De ingangsimpedantie wordt daarmee bepaald door het terugkoppelnetwerk. Om de ruisbijdrage van de weerstanden in het terugkoppelnetwerk niet teveel mee te laten wegen kiezen we die liefst zo laag mogelijk. Helaas zijn veel HiFi voorversterkers niet in staat om lage impedanties aan te sturen zonder merkbaar te vervormen. Daarom waren we graag in de buurt van de 10K geëindigd. Helaas wordt dan de ruis van de terugkoppelweerstanden echt te groot, de signaal/ruis verhouding van de versterker komt dan vrijwel geheel voor rekening van deze weerstanden. Ook komen met een dergelijk terugkoppelnetwerk de luswinst en de uitmuntende prestaties van deze versterker in het gedrang. Daarom kiezen we voor het compromis om uit te gaan van een terugkoppelnetwerk van 2K2/47K, maar uiteraard kunnen deze waardes nog verder verlaagd worden, mits de onderlinge verhouding gelijk blijft. Daarmee weten we meteen dat dit verhaal nog een vervolg krijgt, door de lage ingangsimpedantie van deze versterker kan hij namelijk niet aan iedere voorversterker worden aangesloten. We zullen dus een nette voorversterker moeten ontwerpen die overweg kan met een dergelijk lage impedantie.

Voeding

De spanningszwaai van de voortrap is zo'n 4V lager dan de beschikbare voedingsspanning, we kunnen de voortrap dus beter niet uit dezelfde voeding voeden als de eindtrap, anders is het rendement helemaal rampzalig. Daarnaast is het door de hoge ruststroom van de eindtrap niet verstandig om de voortrap te voeden uit dezelfde voeding, de rimpelspanning hierop is namelijk nogal fors. Daarom krijgt de voortrap een eigen gestabiliseerde voedingsspanning van +/-30V en wordt de eindtrap gevoed door een ongestabiliseerde voeding van pakweg +/-25V.

De gecascodeerde stroombronnen en de folded-cascode opbouw van de voortrap staan garant voor een uitstekende PSRR (power supply rejection ratio). In principe zou de voeding dus van generlei invloed mogen zijn op de klank van de voortrap. Gezien we hier een referentieversterker willen bouwen, nemen we toch maar geen risico's en voorzien we de voorversterker van een nette gestabiliseerde voeding, uiteraard geheel discreet opgebouwd, net zoals de rest van de versterker. De ge-

Onderdelenlijst versterker

Weerstanden

R1/R2/R29/R30 (4) = 2K2
R3/R4 (2) = 47K
R5/R6/R26/R27 (4) = 330R
R7/R12/R13/R14/R15/R18/R19/R24/R25/R28 (10) = 470R
R8/R9/R10/R11/R20/R21 (6) = 680R
R16/R17/R35/R50 (4) = 100R
R31/R46 (2) = 10R
R22 (1) = 47R
R23/R32/R33/R34/R47/R48/R49 (7) = 1K
R36/R37/R51/R52 (4) = 22R
R61/R62 (2) = 100K
R63/R64 (2) = 47K
R38-R45/R53-R60 (16) = 1R/2W/MOX
P1 (1) = 10K (meerslagen)
L1 (1) = 10uH

Condensatoren

C1/C2/C5/C6/C10/C11 (6) = 33pF
C3 (1) = 10nF PP
C4/C9 (2) = 1nF PP
C7/C8/C12/C13 (4) = 2.2pF
C14/C15/C16/C17 (4) = 100uF/50V
C20/C21 (2) = 1uF/63V MKT

Diodes

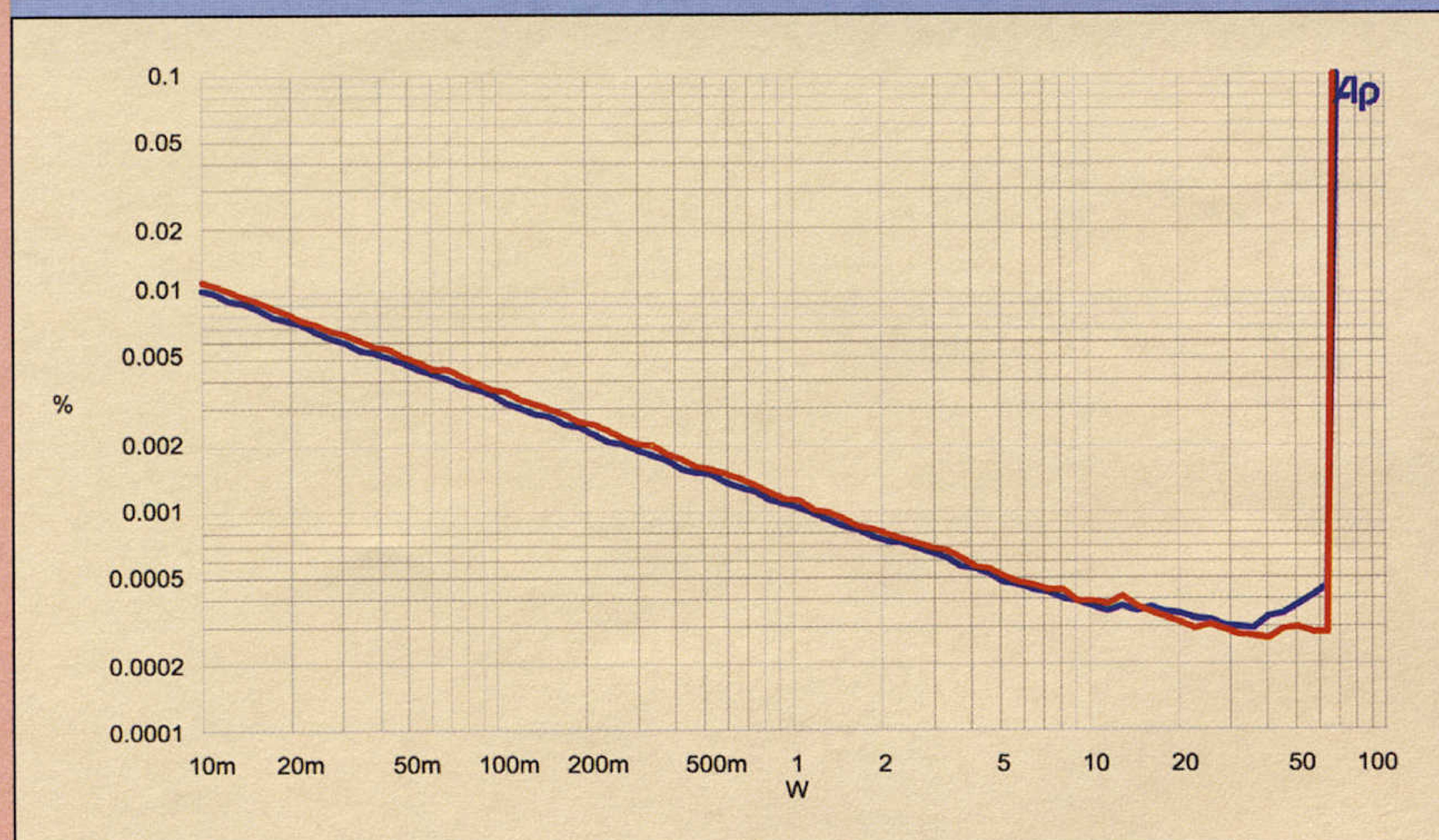
D1/D2/D5/D8/D11/D12 (6) = 1N4148
D3/D4/D6/D7 (4) = BAT85
LD1/LD2/LD3/LD4 (4) = LED (groen)
D9/D10 (2) = BZX79C12V (12V zener)

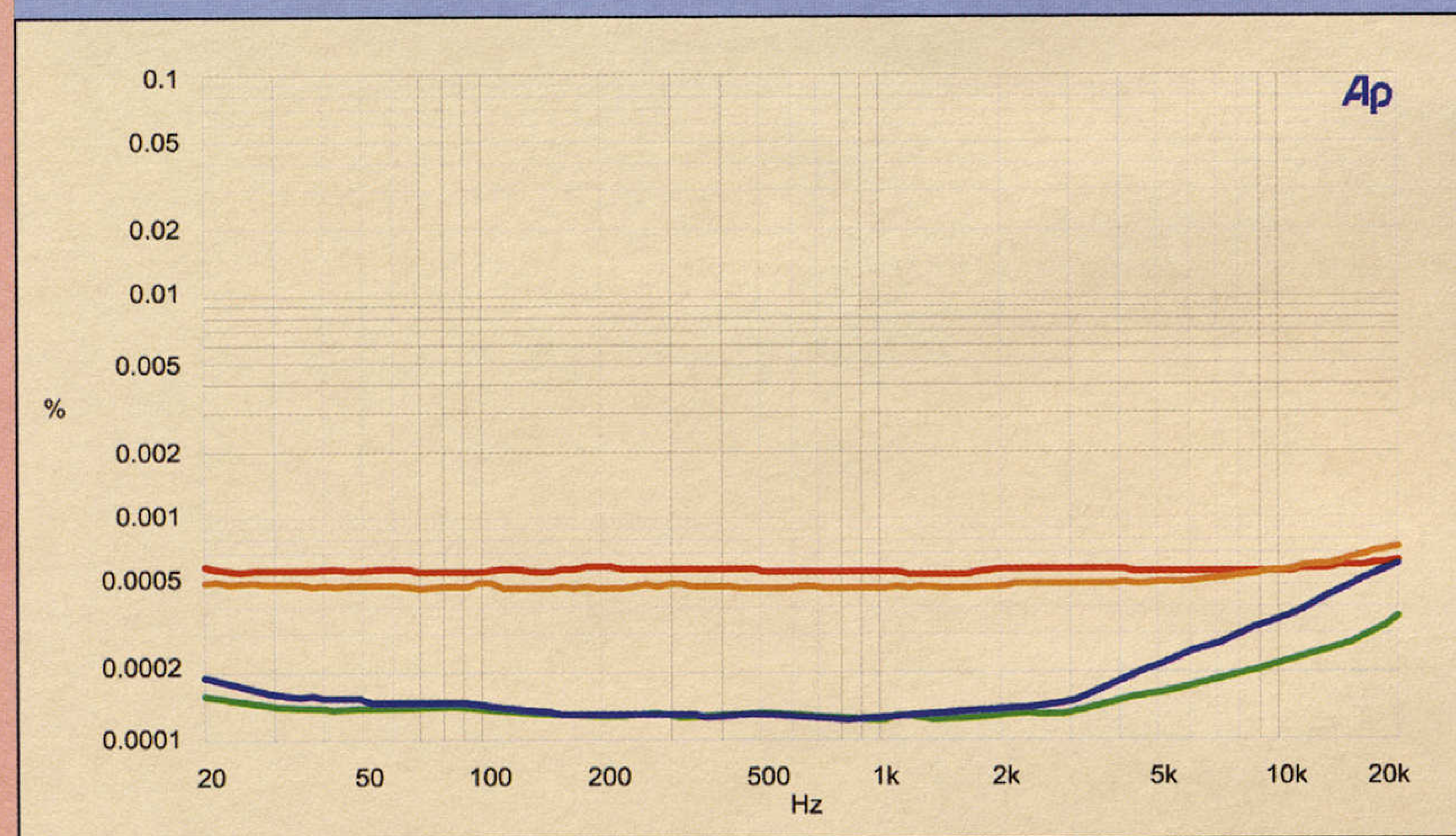
Transistoren

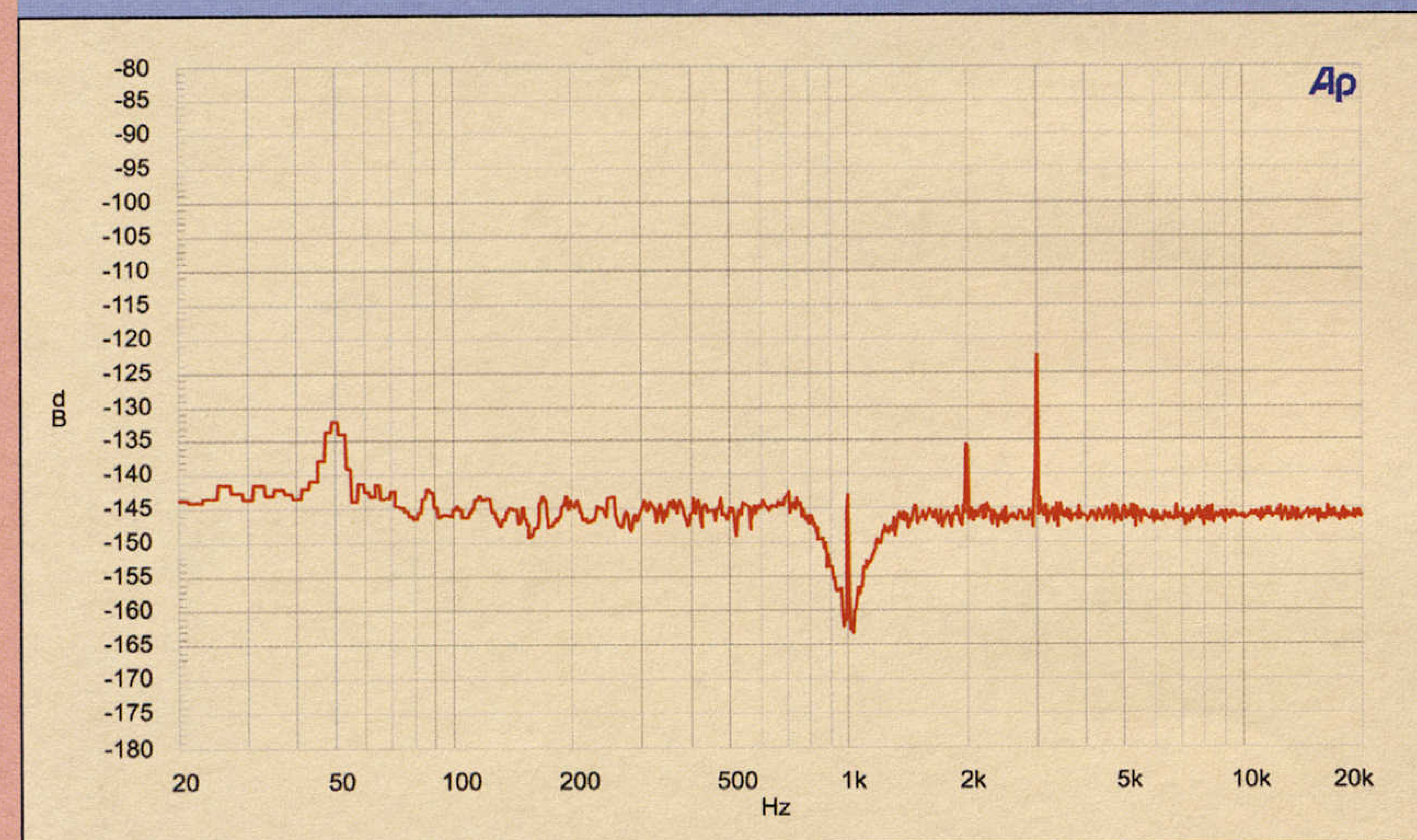
T1/T2 (2) = BC550C (Hfe gepaard)
T3/T4/T9/T10/T11/T12/T13/T14/T18/T19/T21/T22/T25/T26/
T27/T28/T29/T31/T33/T39/T41/T43/T49/T50 (24) = BC547C
T5/T6/T7/T8/T15/T16/T17/T20/T23/T24/T30/T32/T34/T40/
T42/T44 (16) = BC557C
T35/T45 (2) = BD139-16
T36/T46 (2) = BD140-16
T37/T47 (2) = 2SC2922
T38/T48 (2) = 2SA1216

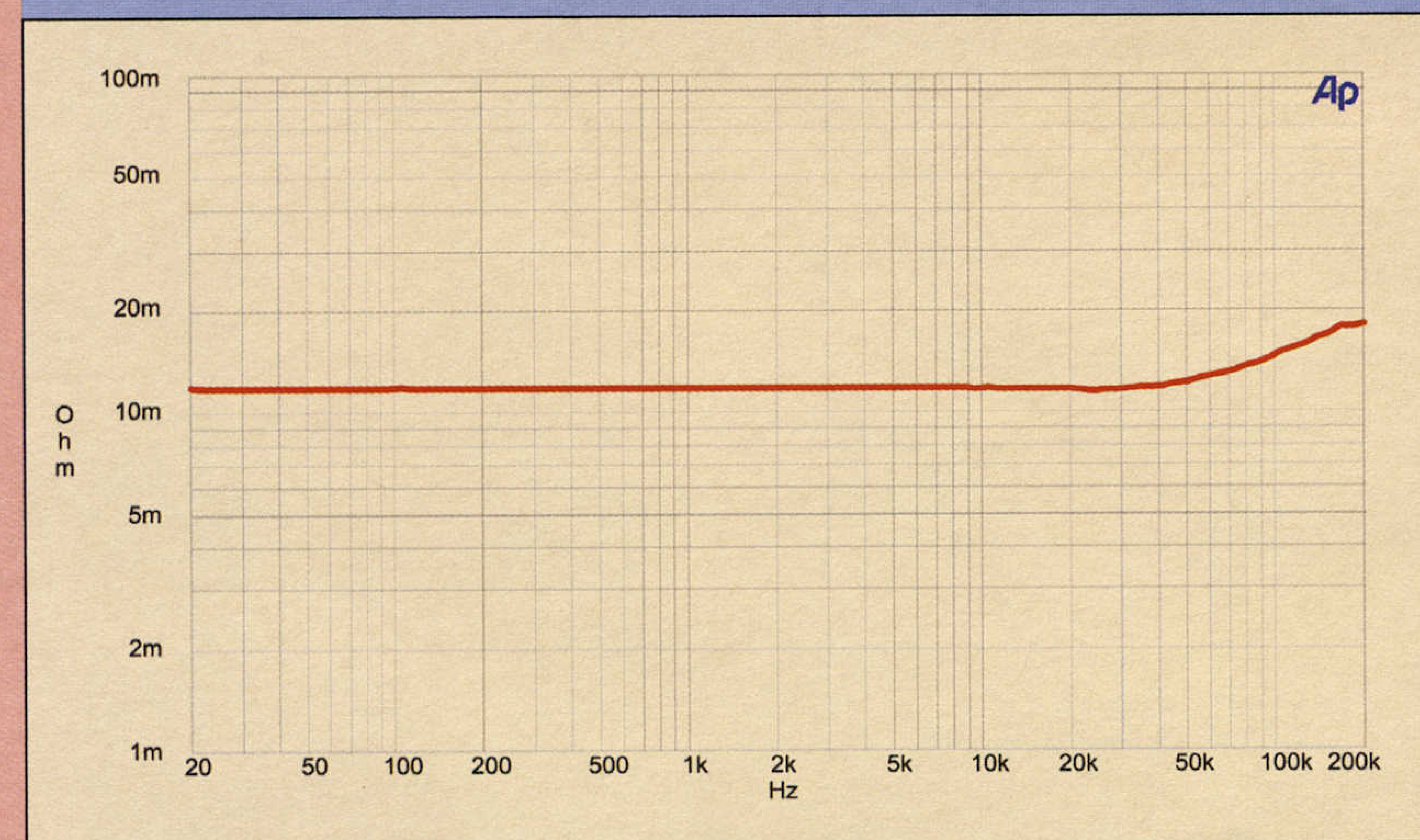
Connectoren

Faston printconnector 5x
4-polig 2.54-mm pitch 1x
3-polig 2.54-mm pitch 1x









Meetresultaten

Figuur 5 toont het verloop van THD+N met het uitgangsvermogen bij 1kHz en 6kHz. De meetbandbreedte werd op 20kHz gelegd in de wetenschap dat alleen de derde harmonische bijdraagt tot het totale vervormingscijfer. Duidelijk is dat de ruis, 30uV ongewogen, voor het grootste gedeelte domineert. Pas bij een vermogen van 30W zien we de vervorming uit de ruis vandaan komen en dan alleen nog maar bij bij 6kHz. De instelstroom van de versterker was berekend voor een vermogen van 80W in 8-ohm maar de bij de metingen gebruikte trafo leverde net niet genoeg spanning, hierdoor loopt de versterker bij 60W uitgangsvermogen tegen de voedingsspanning aan. Figuur 6 toont het verloop van THD en THD+N bij 40W en 20W. De meetbandbreedte ligt nu op 80kHz. De bovenste twee grafieken laten zien dat door de grotere meetbandbreedte de ruis nu helemaal de vervorming afdekt. Om toch door de ruis te kunnen zien, wordt een functie van de het AP meetsysteem gebruikt die met banddoorlaatfilters enkel in de buurt van de harmonischen meet. Zo kunnen we toch een stuk dieper kijken. De blauwe grafiek is voor 40W, de groene voor 20W. Figuur 7 toont de vervormingsrest bij 40W, 1kHz. De tweede harmonische is te wijten aan het gebruik van ongepaarde transistoren. Hier zien we dus dat bij 40W het werkelijke vervormingspercentage 0.00008% (-122dB) bedraagt. Gezien de klasse-A instelling geldt de stelregel dat de tweede harmonische twee keer zo snel daalt als het signaalniveau, de derde drie keer enz. De vervorming bij 1W laat zich zo schatten, en zal ergens rond de 0.000002% (-154dB) liggen, een waarde die we zonder kunstgrepen niet kunnen natrekken. Tenslotte toont figuur 8 de uitgangsimpedantie.

Figuur 5: THD+N versus vermogen bij 1kHz en 6kHz
Figuur 6: THD+N en THD versus frequentie bij 40W
Figuur 7: Vervormingsrest bij 40W/1kHz
Figuur 8: Uitgangsimpedantie

stabiliseerde voeding is geschakeld als een transconductantieversterker. De ontkoppelcondensator over de uitgang vormt automatisch de compensatie-C, zodanig dat deze regulator onvoorwaardelijk stabiel is vanaf enkele uF aan de uitgang. De uitgangsimpedantie is met 20-milliohm niet extreem laag, maar de schakeling houdt dat wel vol tot de uitgangscondensator het overneemt. De rimpelonderdrukking en de ruis zijn factoren beter dan die van de bekende 78xx en 79xx spanningregelaars, het spanningsverlies over de discrete regelaar is de saturatiespanning van de serietransistor, pakweg 0.3V.

De voeding van de eindtrap is een recht-toe-recht-aan ontwerp met een dubbele gelijkrichtbrug en maximaal 132,000uF aan buffering. Uiteraard is de hier gepresenteerde voor- en eindtrap voeding bedoeld en gedimensioneerd voor een mono-versterker. Naar keuze kan men de voeding van de eindtrap bestukken met vier stuks 22000uF of vier stuks

33000uF aan bufferelco's. In het laatste geval kan de ruststroom zonder problemen 2.5A bedragen, tot zo'n 1.5A kunnen we prima toe met vier stuks 22.000uF.

Schaalbaarheid

Gezien de afmetingen van het koellichaam kan het in sommige gevallen geen kwaad om de russtroom aan te passen, bijvoorbeeld wanneer men prima met een lager uitgangsvermogen uit de voeten kan. Zoals vermeld is de ruststroom gelijk aan de helft van de stroom die we nog in klasse-A willen kunnen leveren. Indien een uitgangsvermogen van 50W aan 6-Ohm voldoende is, hebben we genoeg aan een piekstroom van 4.1A, wat resulteert in een ruststroom van 2.05A. De ruststroom wordt bepaald door de emitterweerstanden, waar bij afwezigheid van een ingangssignaal 0.65V over valt. Voor 0.65V bij 2.05A worden de emitterweerstanden theoretisch 0.32-Ohm. De maximum uitgangsspanning wordt 25V, om die te kunnen leveren hebben we net iets meer dan 12.5V nodig per eindtransistor, dus pakweg 14V. Beide eindtraphelften samen dissiperen nu 2x2.05Ax2x 14V=115W. Hieruit blijkt gelijk dat het rendement van deze versterker minder is dan 50%. Uiteraard kan een luidspreker met een nominale impedantie van 6-Ohm onder bepaalde voorwaarden meer stroom vergen dan een weerstand van dezelfde waarde. Het lijkt ons echter redelijk voor deze extra stroom te rekenen op de klasse-B stroomreserve.

Opbouw

Voor zowel de versterker als de voeding is een dubbelzijdige doorgemetalliseerde print ontworpen op basis van through-hole componenten zodat ook de minder ervaren hobbyist hiermee aan de slag kan. Zoals beschreven in de inleiding is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van standaardcomponenten die de reguliere elektronica winkel normaliter moet kunnen leveren. Het is niet nodig om de BC550C/547C/557C te paren op hun versterkingsfactor (Hfe), alleen bij het ingangspaar heeft dit zin, eventuele verschillen uiten zich in meer of minder DC-offset op de uitgang en het verschijnen van een kleine hoeveelheid even vervormingscomponenten. Opbouw van de versterkerprint begint uiteraard met de montage van de diodes en de weerstanden, waarna de BC550C/547C/557C transistoren, de condensatoren, en overige componenten volgen. De emitterweerstanden R38 t/m R45 en R53 t/m R60 dienen enkele millimeters boven de print gemonteerd te worden, zodat ze hun warmte goed kwijt kunnen. Meerslagen potentiometer P1 wordt voor montage precies in het midden gezet en wordt straks afgeregeld zonder belasting op de uitgang en met kortgesloten ingang op minimale DC-offset. De driver transistoren T35/T36 en T45/T46 alsmede de eindtransistoren T37/T38 en T47/T48 worden pas gemonteerd als de print tegen 't koellichaam wordt geschroefd, zodoende voorkomen we thermische spanningen die de soldeerverbindingen zouden kunnen loswerken uit de print. Let op dat zowel de driver- als eindtransistoren geisoleerd gemonteerd moeten worden op 't koellichaam, bij voorkeur gebruiken we hiervoor isolatie-folie op basis van geimpregneerde glasvezel die we netjes op maat snijden. Gebruik in geen geval mica isolatieplaatjes met koelpasta, de dissipatie van de eindtransistoren is dusdanig groot dat bij een slecht contact tussen transistor en koellichaam deze snel defect zal raken met alle gevolgen van dien. Let bij de montage goed op de orientatie van de onderdelen, de opdruk op de print geeft duidelijk aan hoe één en ander gemonteerd moet worden.

Voor de opbouw van de voedingsprint gaan we op gelijke wijze te werk als de opbouw van de versterkerprint. Begin dus met de montage van de diodes, waarna de weerstanden, transistoren en condensatoren volgen. Uiteraard worden de vier grote bufferelco's pas als laatste geplaatst. Beide gelijkrichtbruggen komen niet op de print maar worden tegen het koellichaam geschroefd omdat door de grote ruststroom er aardig wat vermogen in de gelijkrichtbruggen wordt gedissipeerd. Voor de eindtrap zoals getekend in 't schema wordt een 300 of

Onderdelenlijst voeding

Weerstanden
R1-R6/R9-R14 (12) = 2.2R
R7/R8/R15/R16 (4) = 100R
R17-R21 (5) = 10K

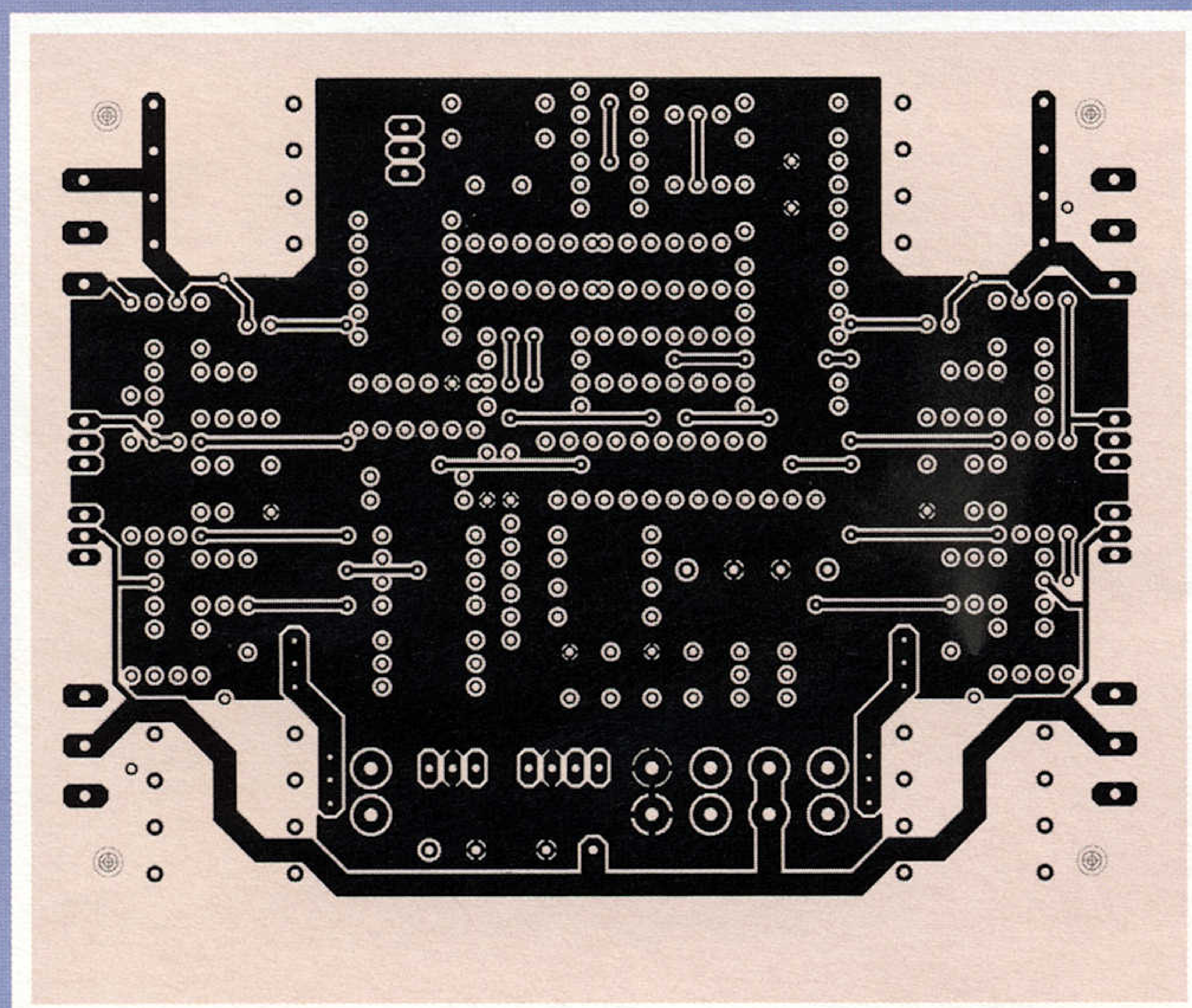
Condensatoren
C1-C8 (8) = 10nF
C9-C14 (6) = 1000uF/63V
C15/C16 (2) = 100uF/50V
C17-C20 (4) = 22000-33000uF ALC10 BHC

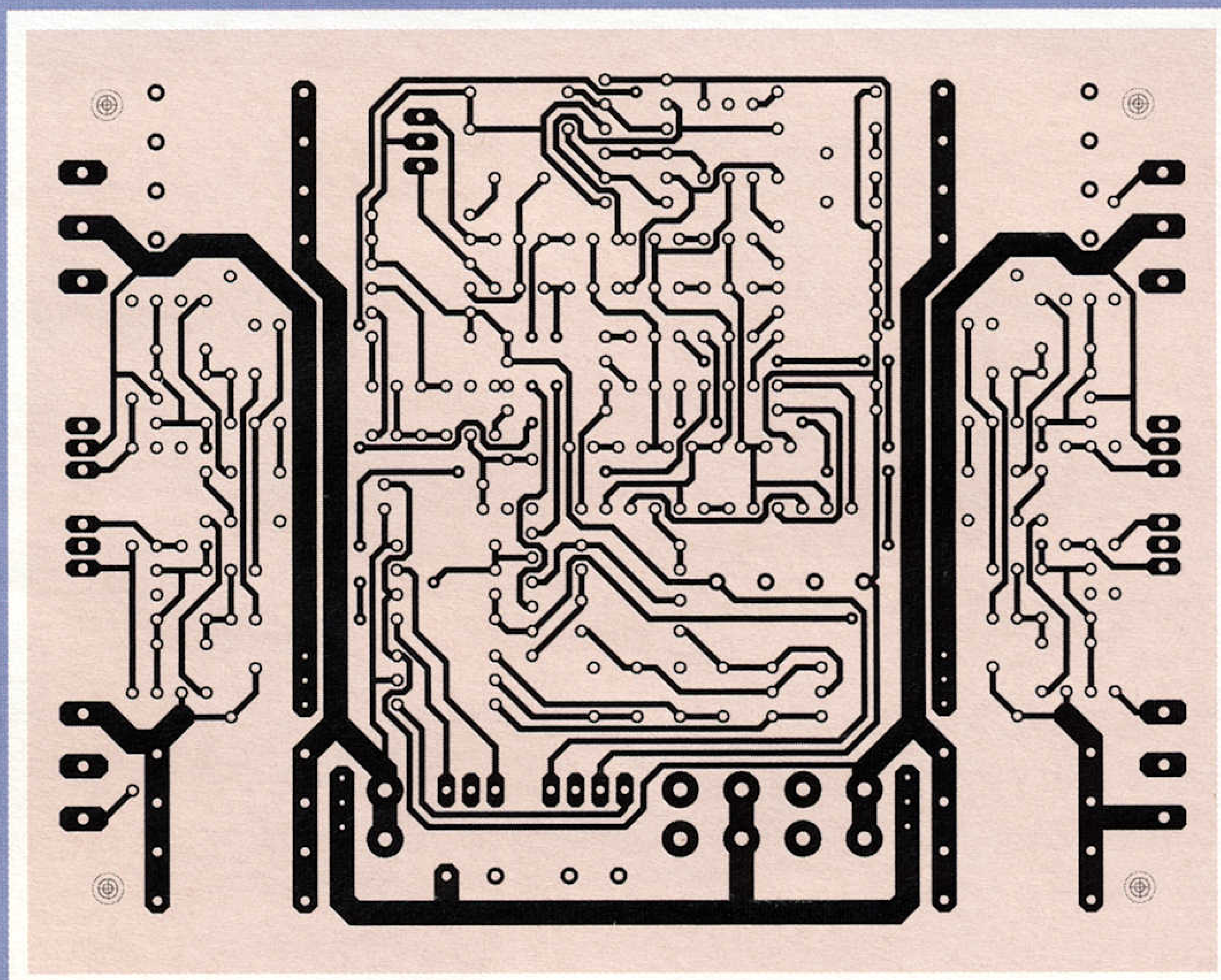
Diodes
D1-D8 (8) = MBR1100
D9/D10/D11/D12 (4) = BZX79C15V (15V zener)
D13/D14/D17/D18/D19/D20 (6) = 1N4148
D15/D16 (2) = BZX79C4V7 (4V7 zener)
B1/B2 (2) = brugcel 35A/200V

Transistoren
T1/T2/T5/T8/T9/T11 (6) = BC557C
T3/T4/T6/T7/T10 (5) = BC547C
U1/U3/U4/U6 (4) = J505 (1mA CRD)
U2/U5 (2) = J511 (4.7mA CRD)

Connectoren
Faston printconnector 11x
4-pole 2.54-mm pitch 1x

Diversen
Zekeringhouder 22.5-mm 2x
Zekering 6.3A 2x
Relais RT424024 2x
Transformator 2x17/18V 300 of 500VA
Transformator 2x25V 15 of 30VA

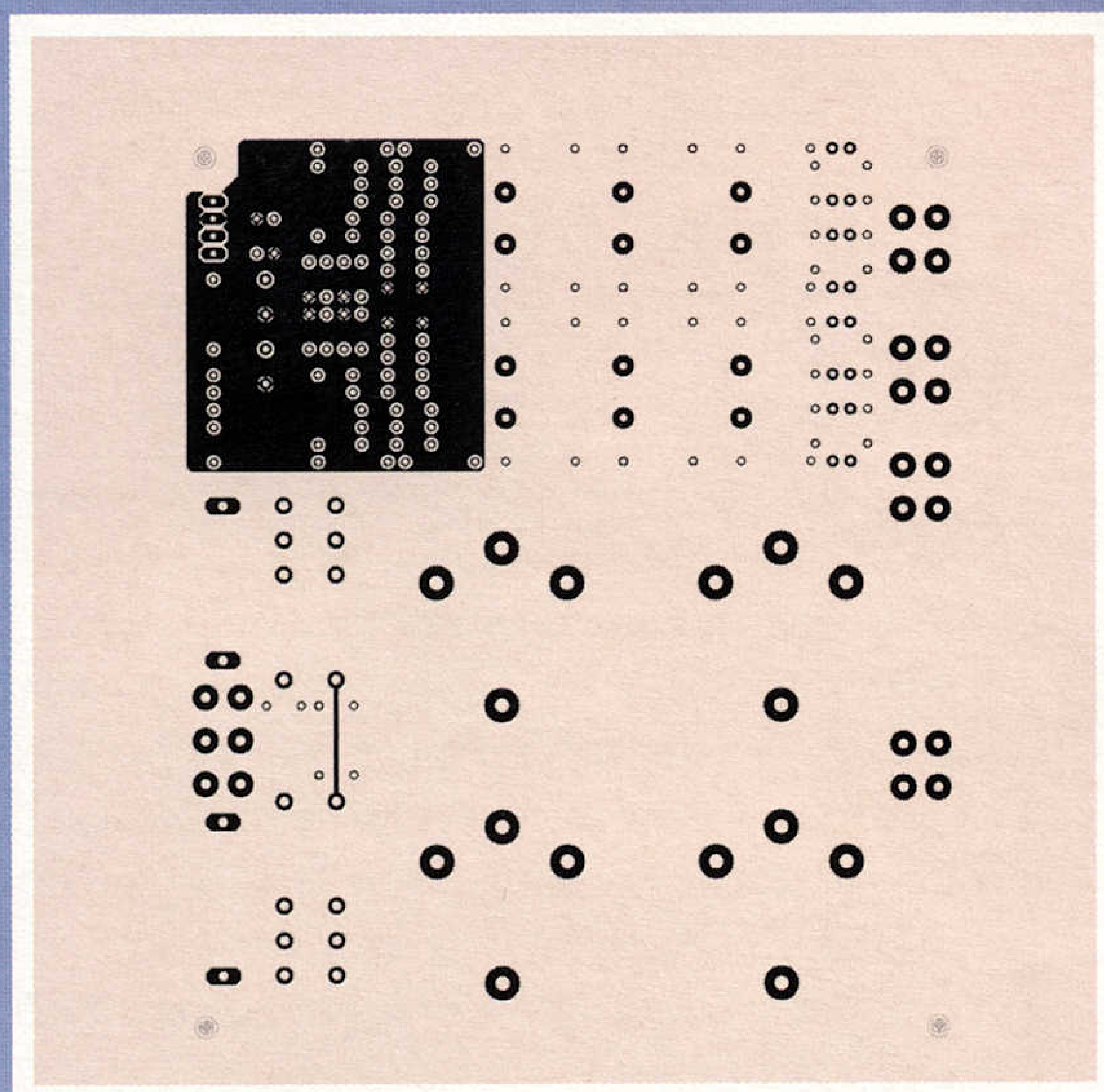


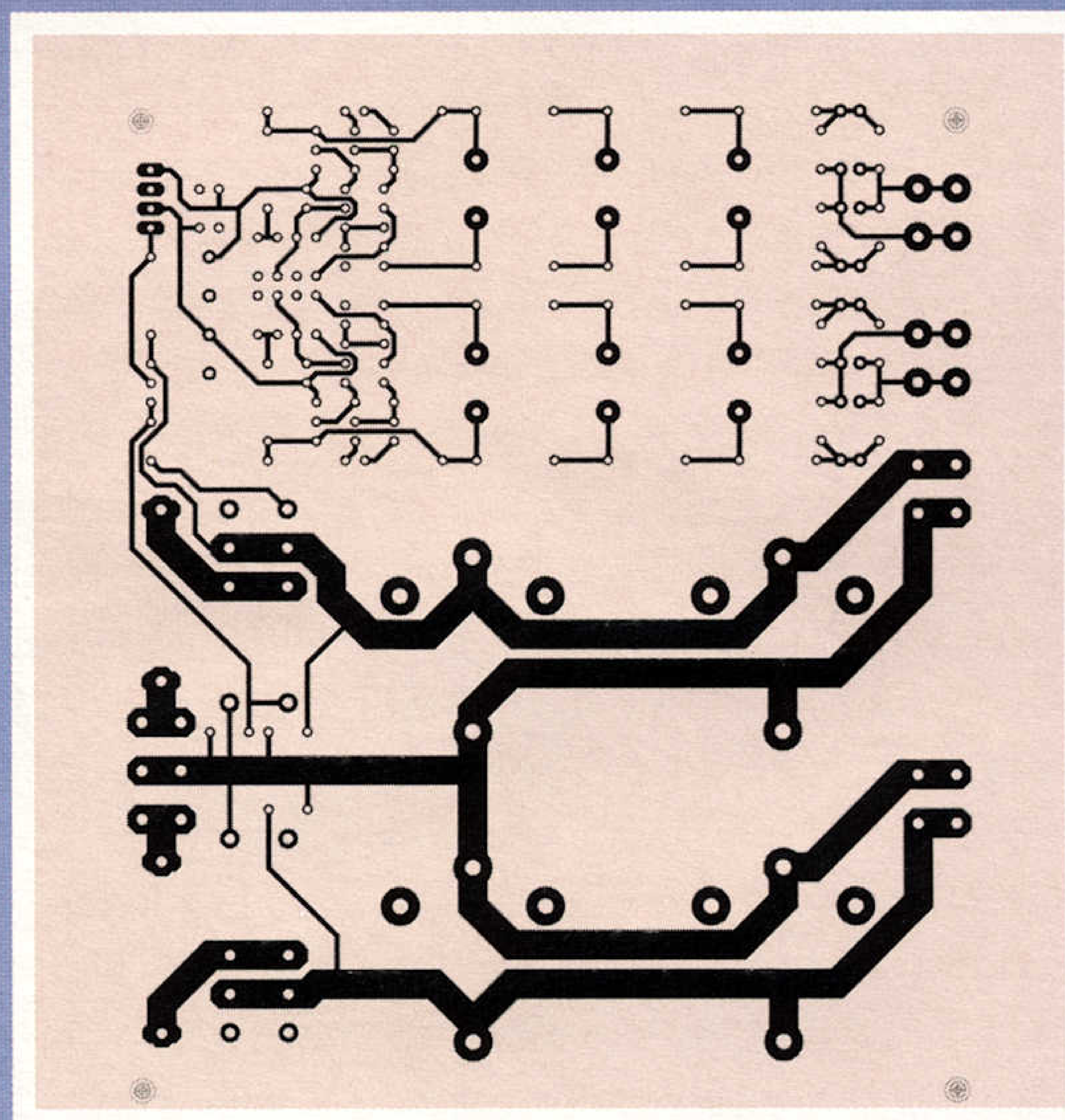


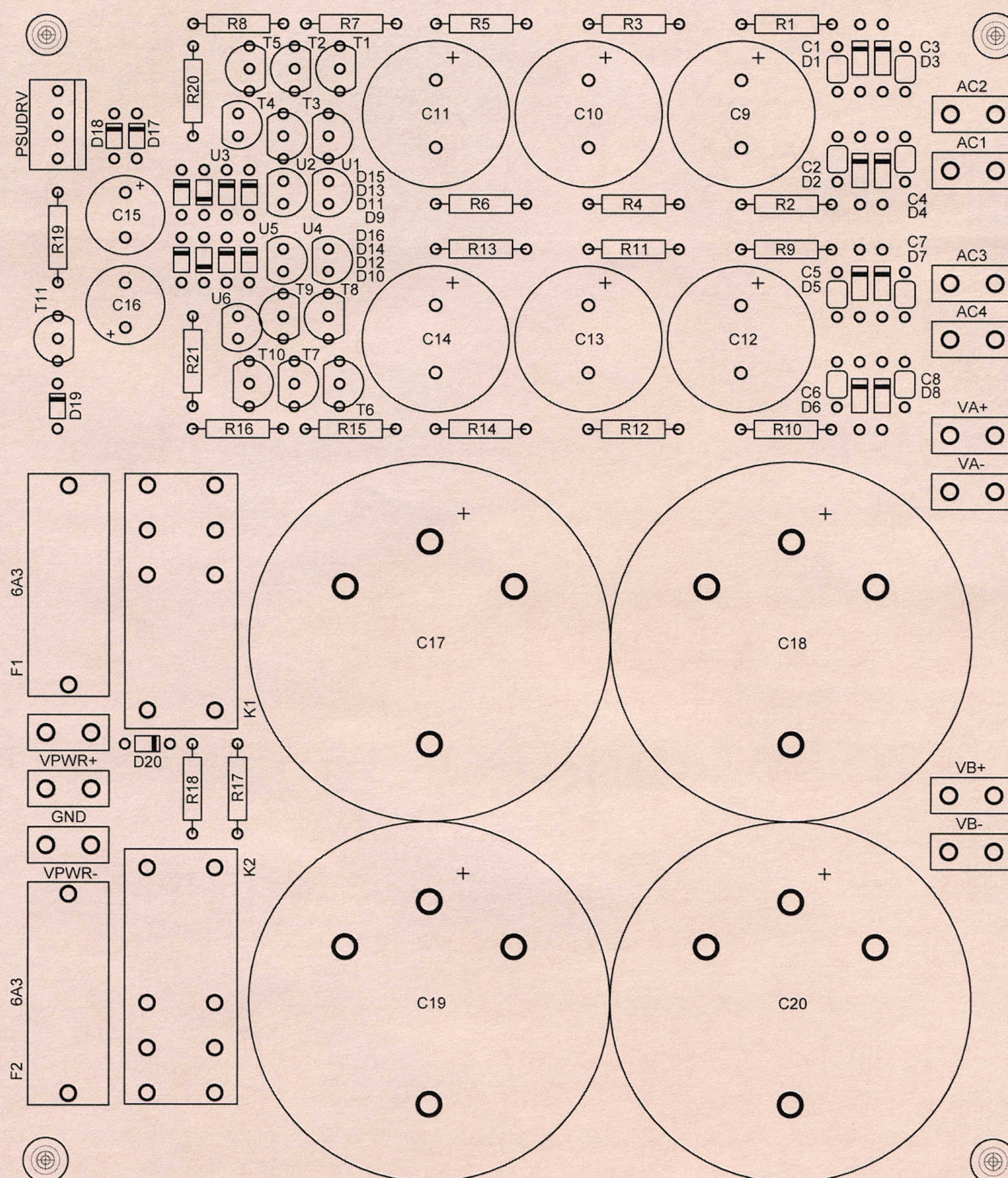
R41 P1 R19 T20 T21 R21 R53
R40 R18 T22 R17 R54
T17 T18 C2 R16
R39 C3 C1 R55
R38 R22 T16 T8 T19 R20 R56
R14 T12 T14 R51
R12 T15 T7 T11 T13 R15
T37 R23 R13 T41 T47
T31 R32 C7 R25 T6 R11 C12 R47
R36 R24 R10 T10 R9
C5 T23 T25 R8 R46 D6
R31 D3 R26 T5 T9 R28 C10
T35 T24 T26 R27 R7 T39 T45
T33 T29 T43
C4 R29 D1 LD1 LD2 U1 LD3 LD4 C9 R49 D12 R50
D5 R35 D11 R34 R30 D2 T27 T3 T4 T28 D8
R3 R5 T40
T34 T30 R1 R6 C14 C15 T44
T36 R4 T1 L1 T46
D4 R2 R64 C11 D7
C6 R33 C8 R62 T2 D9 D10 T49 T50 R52
T38 T32 R61 C20 C21 R48 C13 T42 T48
R37 R63
R45 INPUT PSUDRV R57
SPKR+ GND VPWR+ VPWR- SPKR-
R44 R58
R43 C16 C17 R59
R42 R60

Figuur 9:
Print versterker, componentenzijde
Figuur 10:
Print versterker, soldeerzijde
Figuur 11:
Print versterker, componenten opdruk

Figuur 12:
Print voeding, componentenzijde
Figuur 13:
Print voeding, soldeerzijde







Figuur 14:
Print voeding, componenten opdruk

500VA transformator aangeraden met een secundaire spanning van 2x17V of 2x18V, de voortrap neemt genoegen met een 15 of 30VA transformator met een secundaire spanning van 2x25V. Bij ruststromen vanaf 2A is een 500VA transformator geen overbodige luxe omdat door de hoge ruststroom de bedrijfstemperatuur van een transformator snel zal oplopen. Het koellichaam moet met de dimensionering van de emitterweerstanden zoals gegeven in het schema minimaal een K/W waarde hebben van 0.2K/W, da's normaliter een koellichaam met buitenafmetingen van circa 300x300x80-mm, hierdoor stijgt de temperatuur van het koellichaam niet boven de 65-graden Celcius.

Auteursrecht

 Met vragen hieromtrent of met algemene vragen met betrekking op dit ontwerp kan U de auteurs bereiken op ssassen@hardware-analysis.com en bruno@hypex.nl.

De goede werking van het hier gepubliceerde ontwerp valt of staat met een correcte opbouw. De auteurs kunnen geen verantwoordelijkheid nemen voor de goede werking en zijn derhalve niet aansprakelijk, ook de uitgeverij is in dit geval niet aansprakelijk te stellen.

Opzet:	Bruno Putzeys
Schema's, layout:	Sander Sassen
Kostprijs:	Circa € 500,- (inclusief koellichaam en trafo's)
Informatie:	ssassen@hardwareanalysis.com bruno@hypex.nl



MinimonO

Klein van formaat, groot van prestaties

DOOR SANDER SASSEN

Klasse-D versterkers kunnen zich al enige tijd verheugen in serieuze belangstelling van echte muziekliefhebbers. Deze versterkers maken het namelijk mogelijk om met minimale afmetingen een hoogwaardige versterker te bouwen door het zeer efficiente klasse-D principe. De hier gepresenteerde zelfbouw versterkers in kitvorm doen wat dat betreft hun naam eer aan door het wel zeer compacte formaat, oftewel klasse-D pur sang.

De werking van transistorversterkers is ingedeeld in klasses, waarmee feitelijk aangegeven wordt hoe de eindtransistoren staan ingesteld. Klasse-A bedrijf betekent eenvoudig dat de eindtransistoren continue open staan en zodoende een flinke ruststroom vragen. Vandaar ook de uit de kluiten gewassen koellichamen van klasse-A versterkers en een maximaal rendement van slechts 50%. Hierdoor is er echter geen sprake van cross-over vervorming die onstaat door de overgang van de ene naar de andere transistor als het signaal van positief naar negatief gaat, beide transistors versterken namelijk maar één signaalhelft. Eindtransistoren die in klasse-B bedrijf functioneren versterken pas als de basis-emitter spanning voldoende is toegenomen om de transistor open te sturen, hierdoor is er altijd sprake van cross-over vervorming omdat er bij de overgang van de ene naar de andere transistor een gebied is waarbij beide transistoren niet geleiden. Klasse-AB is een combinatie van deze twee klasses, waarbij voor kleine signalen de versterker in klasse-A bedrijf staat en voor grote in klasse-B, het rendement is hierdoor zo'n 65 tot 80%.

Klasse-D is een concept dat al in de '50-er jaren werd beschreven en theoretisch uitgewerkt, maar door gebrek aan geschikte eindtransistoren pas enige jaren geleden ook praktisch kon worden uitgevoerd. Klasse-D bedrijf stelt namelijk nogal wat eisen aan een eindtransistor, onder andere op het gebied van de schakelsnelheid. Vandaag de dag zijn er voldoende snelle MOSFET transistoren beschikbaar die aan deze eisen voldoen. We zien dan ook dat veel fabrikanten klasse-D versterkers op de markt brengen, als kant-en-klare versterker, maar ook in kitvorm. Een klasse-D versterker is in feite een schakelende versterker die werkt met een draaggolf volgens het principe van pulsbreedte modulatie, beter bekend als PWM (pulse width modulation). In essentie hoeft een klasse-D versterker slechts te bestaan uit een eenvoudige lineaire versterker die in oscillatie wordt gebracht op een frequentie van enkele honderden KHz. Deze hoogfrequente oscillatie fungeert vervolgens als draaggolf voor het ingangssignaal. Door het moduleren

van de puls breedte van de draaggolf door het ingangssignaal en het vervolgens wegfilteren van de draaggolf met een eenvoudig LC netwerk aan de uitgang blijft het versterkte ingangssignaal over.

Met dit eenvoudige voorbeeld wordt gelijk duidelijk dat de 'D' in klasse-D niks te maken heeft met 'digitaal', veel klasse-D versterkers zijn gewoon analoge versterkers. Uiteraard is het ook mogelijk om een digitale klasse-D versterker te maken, maar dit brengt in de praktijk meer nadelen dan voordelen met zich mee, analoge klasse-D versterkers hebben wat dat betreft de beste papieren. De hier besproken modules van de inmiddels onder zelfbouwers populaire fabrikant Hypex zijn gebaseerd op het UcD principe. Deze klasse-D modules hebben een zeer goede staat van dienst en zijn zondermeer in staat zich te meten met topklasse lineaire versterkers. De hier besproken modules luisteren naar de naam UcD180AD wat zoveel wil zeggen dat ze in staat zijn bij een 4-Ohm belasting een vermogen van 180W te leveren bij een vervorming van 1%. Normaliter blijft de vervorming echter ruim onder de 0.05% en is deze constant over het gehele frequentiebereik, iets waar de gemiddelde lineaire versterker een stevige kluif aan heeft. De 'AD' in UcD180AD staat voor de toegepaste opamp in de buffertrap aan de ingang van de versterker, hier is gebruik gemaakt van de AD8620, een kostbare dubbele opamp met zeer goede prestaties. Het pièce de résistance van deze versterker modules is echter hun hoge rendement van meer dan 92%, hierdoor is het in de versterker gedissipeerde verliesvermogen uiteraard uiterst klein, waardoor ze met weinig koeling toekunnen.

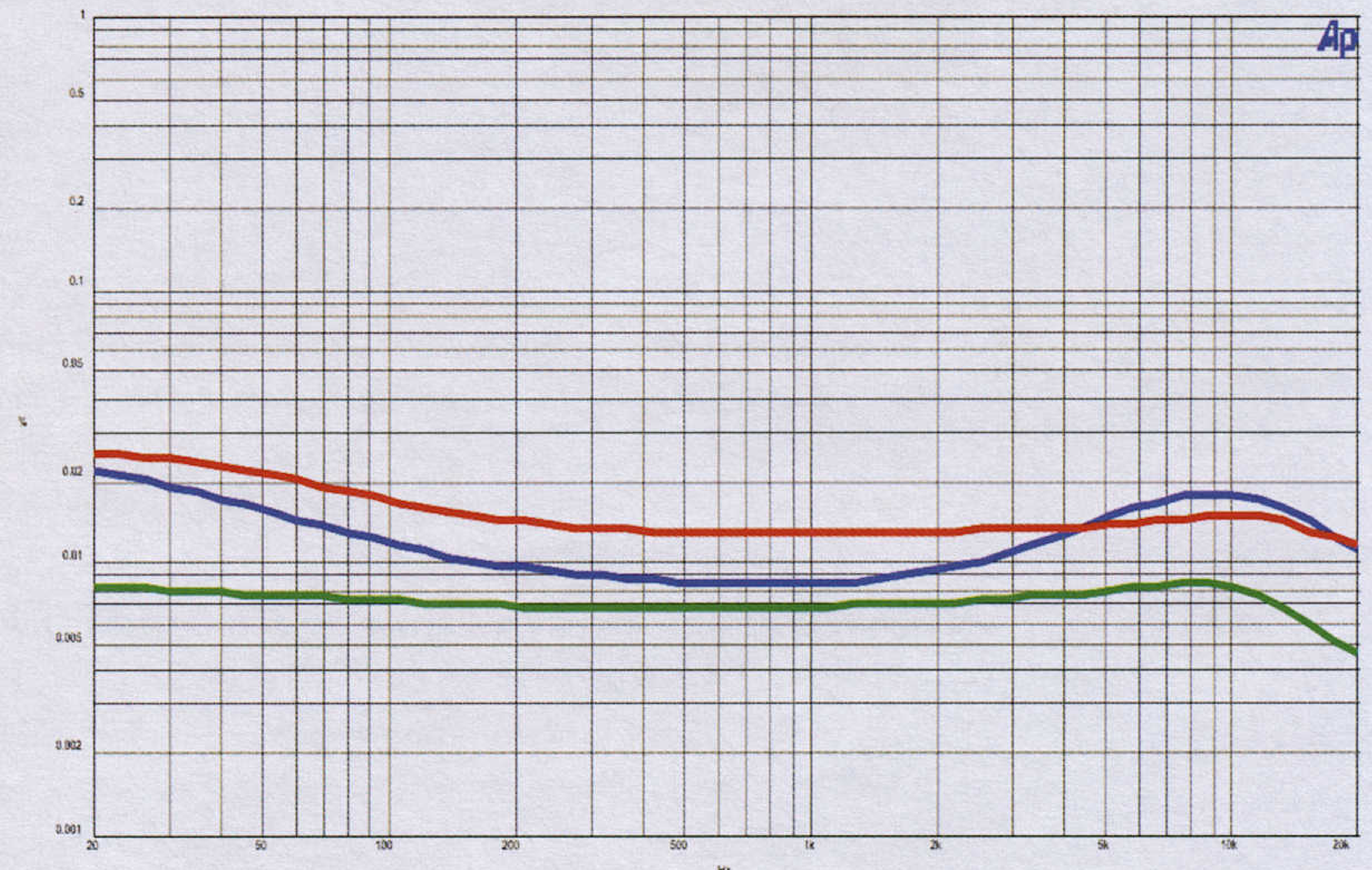
MinimonO

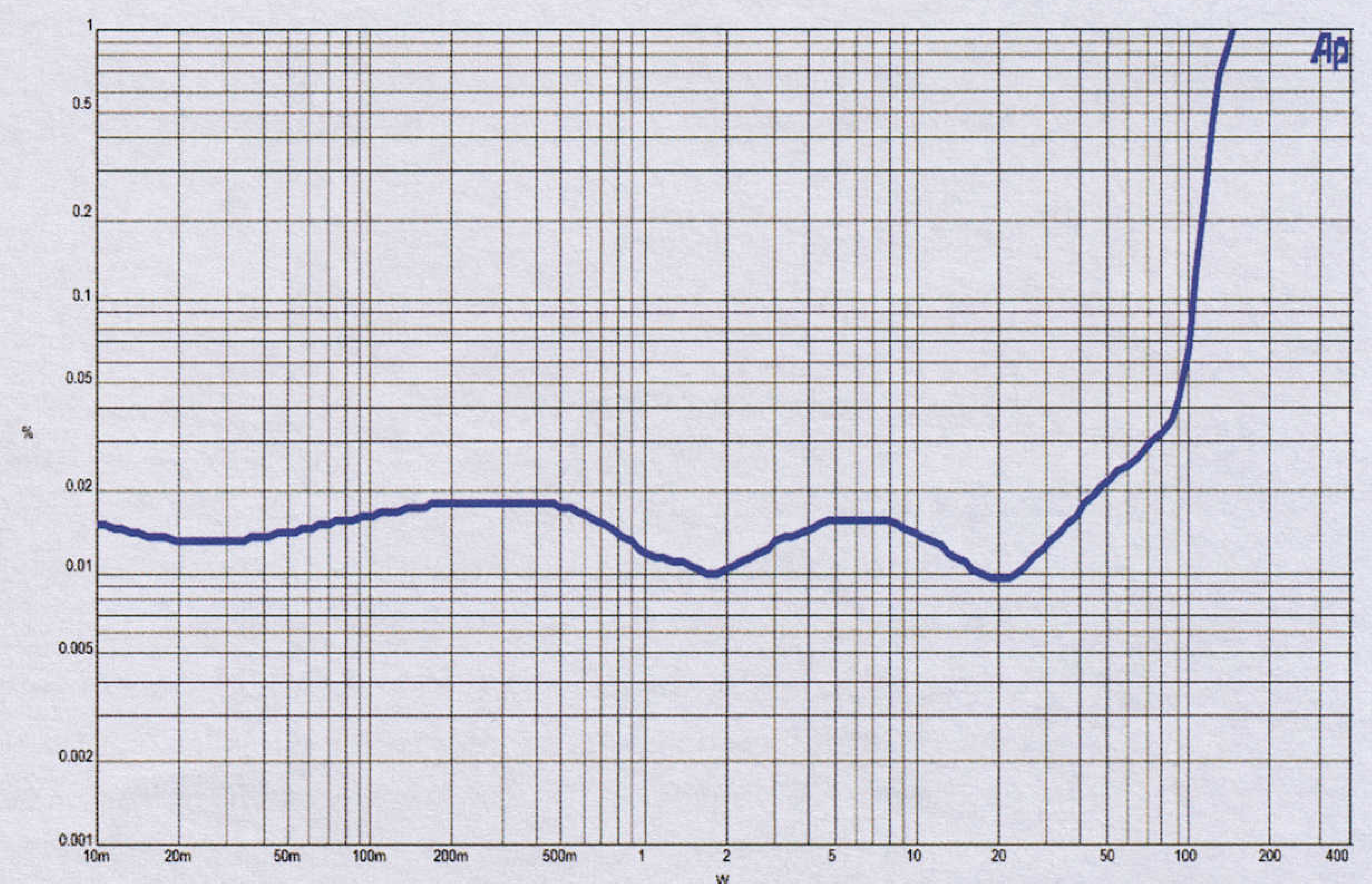
Martin Leemeijer van MM Audio was dermate gecharmeerd van de UcD180AD dat hij hiervoor een bijpassende voeding en kast heeft ontworpen waarmee een klasse-D versterker van uitmuntende kwaliteit opgebouwd kon worden in miniatuur formaat. Met buitenafmetingen van 80x165x180-mm (hxbxd) is dit een zeer compacte versterker die niettemin zonder problemen de hierboven genoemde 180W aan 4-ohm kan leveren. Uiteraard lag het accent niet op het maximaal te leveren vermogen, doorgaans is 100W ruim voldoende voor huiskamer gebruik, maar heeft MM Audio vooral aandacht besteed aan de geluidskwaliteit, de voeding is daartoe bestukt met 'audiofiele' condensatoren en voorziet de opamps op de versterkermodule apart van de benodige voedingsspanning. Dit allemaal om een weergave op hoog nivo te kunnen garanderen die zich meten kan met veel duurdere kant-en-klare versterkers.

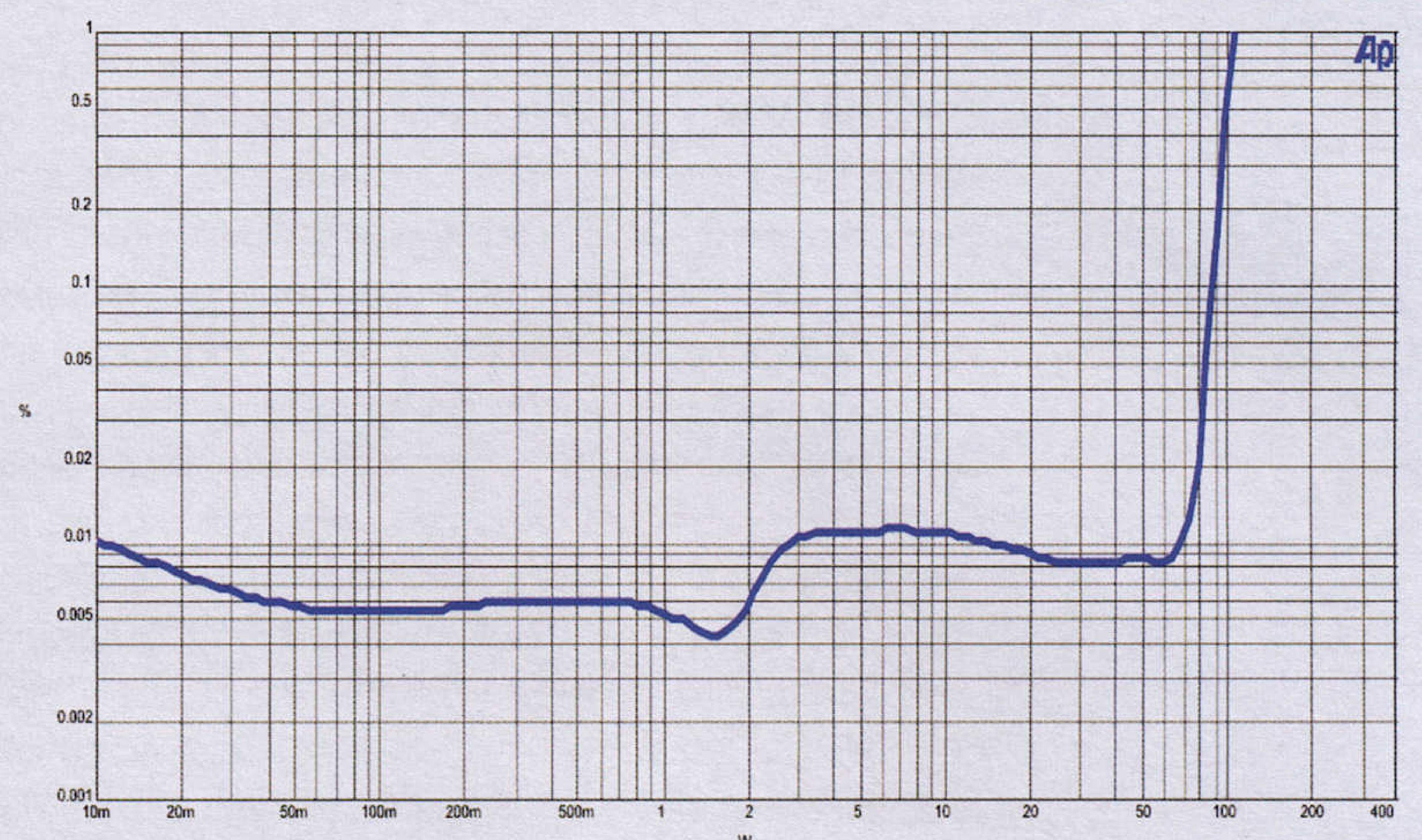
De prestaties liegen er dan ook niet om zoals blijkt uit de meetgegevens, de totale harmonische vervorming (THD) is mooi constant zoals blijkt uit de curves voor 50W, 10W en 1W. Daarnaast blijft de THD bij 1KHz over het algemeen onder de 0.02%, pas bij 80W wordt de 0.05% gehaald. Een sterk punt van het UcD principe wordt gelijk duidelijk uit de grafieken die de frequentiecurve laten zien bij diverse uitgangsvermogens; de UcD180 is onvoorwaardelijk stabiel en laat een identieke curve zien bij iedere belasting. Daarmee zijn deze modules uitermate geschikt voor het aansturen van 'lastige' luidsprekers met een sterk wisselende of afwijkende impedantie.

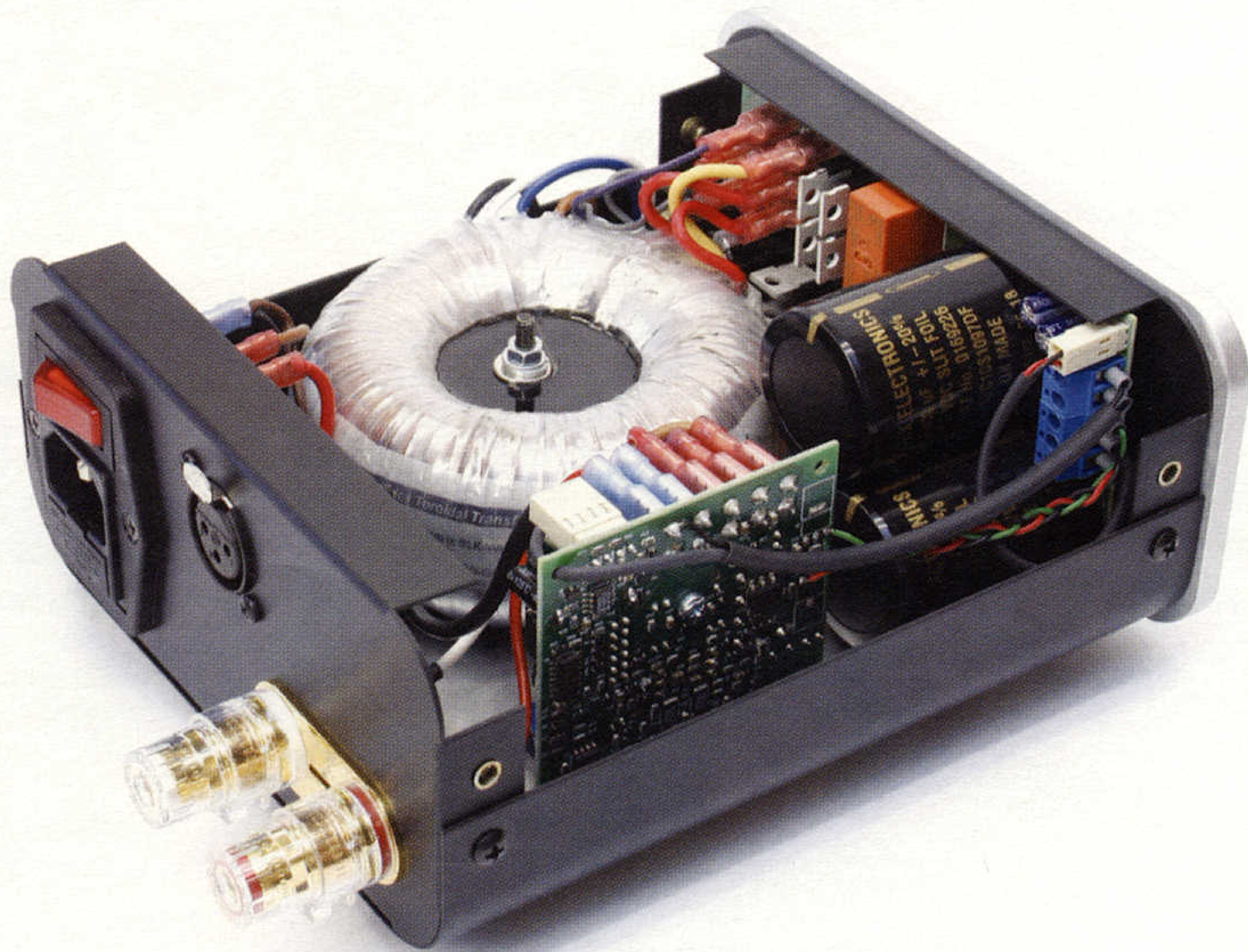
Van huis uit zijn de Hypex UcD versterker modules overigens bedoeld voor gebalanceerd gebruik, ze zijn namelijk in eerste instantie ontwikkeld en bedoeld voor gebruik in professionele toepassingen waar dit de geldende standaard is. De MinimonO is daarom voorzien van een XLR aansluiting zoals bij studio- en duurdere HiFi

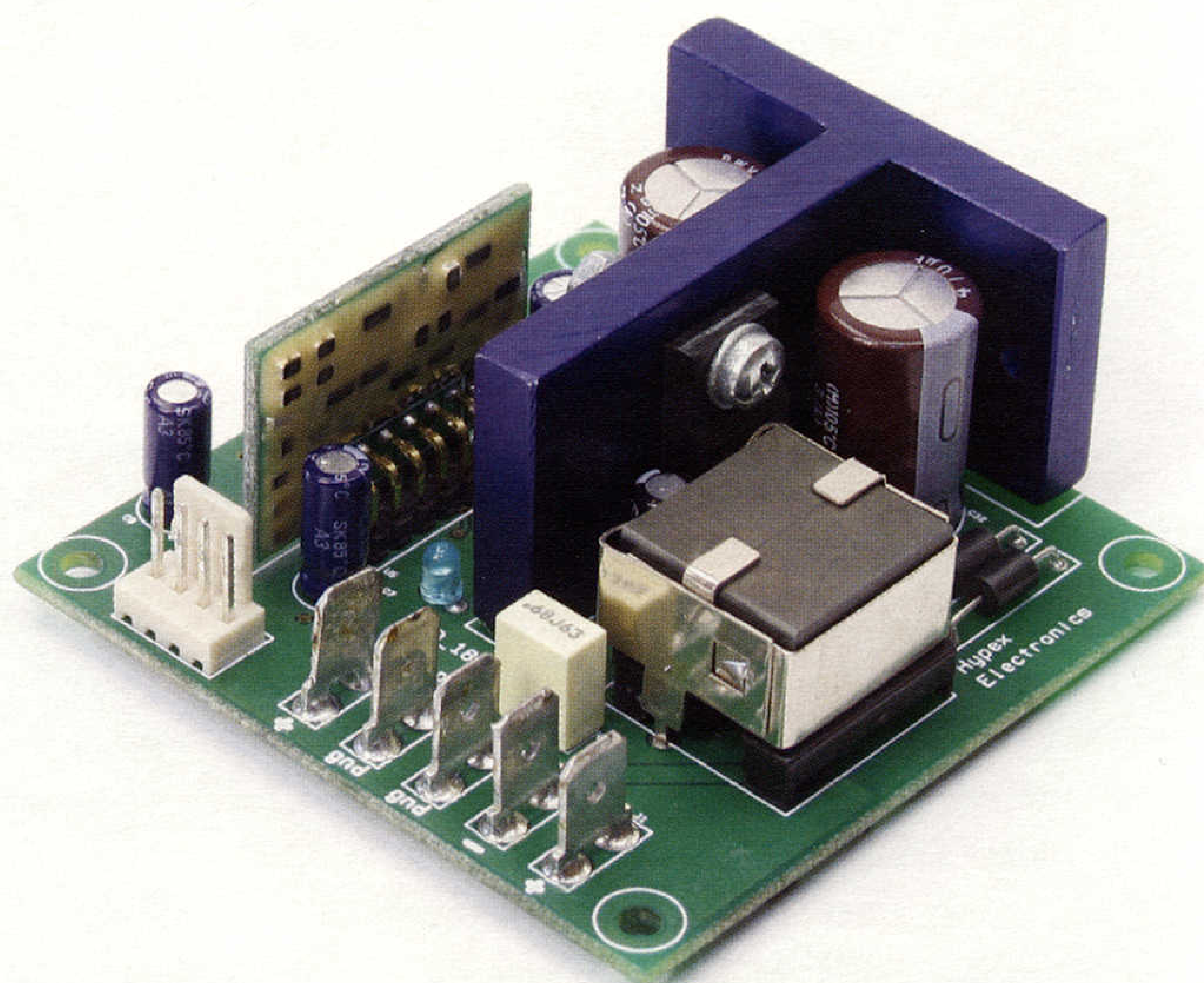
Figuur 1. THD versus vermogen curve, 1W, 10W, 50W
Figuur 2. THD versus uitgangsvermogen curve 4-ohm/1KHz
Figuur 3. THD versus uitgangsvermogen curve 8-ohm/1KHz











Figuur 4
Hypex UcD180AD module

Figuur 5
Achterkant MinimonO

apparatuur te doen gebruikelijk. Uiteraard kan hiervoor een verloopkabel worden gebruikt zodat de MinimonO ook aan te sluiten is op apparatuur met reguliere cinch aansluitingen. Ondanks de beperkte ruimte op de achterkant van de minitieuze kast is deze uitgevoerd met een IEC netspannings aansluiting en een tweetal stevige vergulde aansluitklemmen bedoeld voor banaanstekkers of het direct vastklemmen van dikke luidsprekerkabel. MM Audio berichtte ons overigens vlak voor het ter perse gaan van dit artikel dat er ook een voorversterker in de maak is in dezelfde stijl en formaat als de MinimonO's. Zodoende kan een stel MinimonO natuurlijk prima gecombineerd worden met een bijpassende voorversterker, wederom met de achterliggende gedachte dat de totale set garant dient te staan voor een optimale weergave.

Luisterervaringen

Klasse-D versterkers op basis van het UcD principe kenmerken zich door een vrijwel constante vervorming over het hele frequentiegebied. Dit is duidelijk hoorbaar in de weergave, de detaillering in het laag is voor een groot deel te wijten aan de afwezigheid van vervorming in 't midden en hoog, de versterker klinkt daardoor erg open en transparant. De weergave lijkt in het begin ietwat ingetogen, soms zelfs wat terughoudend. Na wat langer geluistered te hebben wordt echter duidelijk dat dit eigenlijk te wijten is aan gewenning aan het type vervorming wat gewoonlijk te vinden is bij transistorversterkers. Veel van deze versterkers gaan steeds meer vervormen als de frequentie toeneemt, deze vervorming geeft deze versterkers toch een bepaald karakter mee. Een dergelijk karakter ontbreekt duidelijk bij de op de UcD180AD gebaseerde MinimonO versterker.

Een ander pluspunt is het gedrag bij wisselende belastingen, de UcD180AD heeft in vrijwel iedere belasting een identieke frequentiecurve en dit is duidelijk hoorbaar, of juist eigenlijk niet. De versterker zelf voegt namelijk door dit belastings onafhankelijke karakter feitelijk niks toe aan de weergave, ongeacht of er nu een compacte twee-weg monitor luidspreker of een uit de kluiten gewassen vier-weg vloerstaande luidspreker op is aangesloten. Ook wat vermogensreserve betreft staan de MinimonO's hun mannetje, ondanks het minitieuze formaat zijn ze door het efficiente klasse-D bedrijf in staat tot het leveren van een fors uitgangsvermogen. Hierdoor zijn ook luidsprekers met een laag rendement prima aan te sturen, daarbij behoudt de MinimonO een ijzeren greep op de luidspreker door de lage uitgangsimpedantie.

Kortom, dit zijn zeer muzikale versterkers die werkelijk ieder detail in een opname met grote precisie neerzetten in een groot en diep stereobeeld. De klank van deze versterkers wordt in feite het beste omschreven als het ontbreken ervan. Het effect van de constante lage vervorming is echter wel degelijk merkbaar en vertaalt zich in een uiterst precieze en gecontroleerde weergave. De MinimonO's leveren wat dat betreft zeer goede prestaties in een bijzonder compact formaat.

Naam:	MinimonO
Ontwerp:	MM Audio
Afmetingen:	80x165x180-mm (hxbxd)
Prijs bouwkit:	€ 450,- per stuk (complete kit)
Website:	http://www.mm-audio.nl
Contact:	info@mm-audio.nl



Klasse D versterkers leveren een bak vermogen uit een klein doosje met weinig koeling. Maar alleen Hypex UcD™ modules zijn daarnaast specifiek ontwikkeld met het oog op de beste geluidskwaliteit.

Het unieke UcD™ regelsysteem garandeert eenzelfde uitstekende lineariteit bij alle audiofrequenties. Door de volledig discrete opbouw wordt elk schakeldetail tot in de puntjes beheerst. Dankzij het uitgekiende printontwerp en de op maat gemaakte filtercomponenten heeft de versterker een 10 à 20dB betere EMC dan de beste concurrent. Samen met de differentiële ingangen verzekert dit een optimaal resultaat in de meest uiteenlopende toepassingen. De ontwerpers zijn door de wol geverfde audio-freaks die er dagelijks zorg voor dragen dat Hypex modules hun muzikale beloftes waarmaken: absolute neutraliteit en transparantie en overdracht van de volle emotionele kracht van de muziek.

Bezoek www.hypex.nl of ga eens luisteren naar één van de vele hi-fi produkten die met Hypex UcD™ versterkers voorzien zijn.

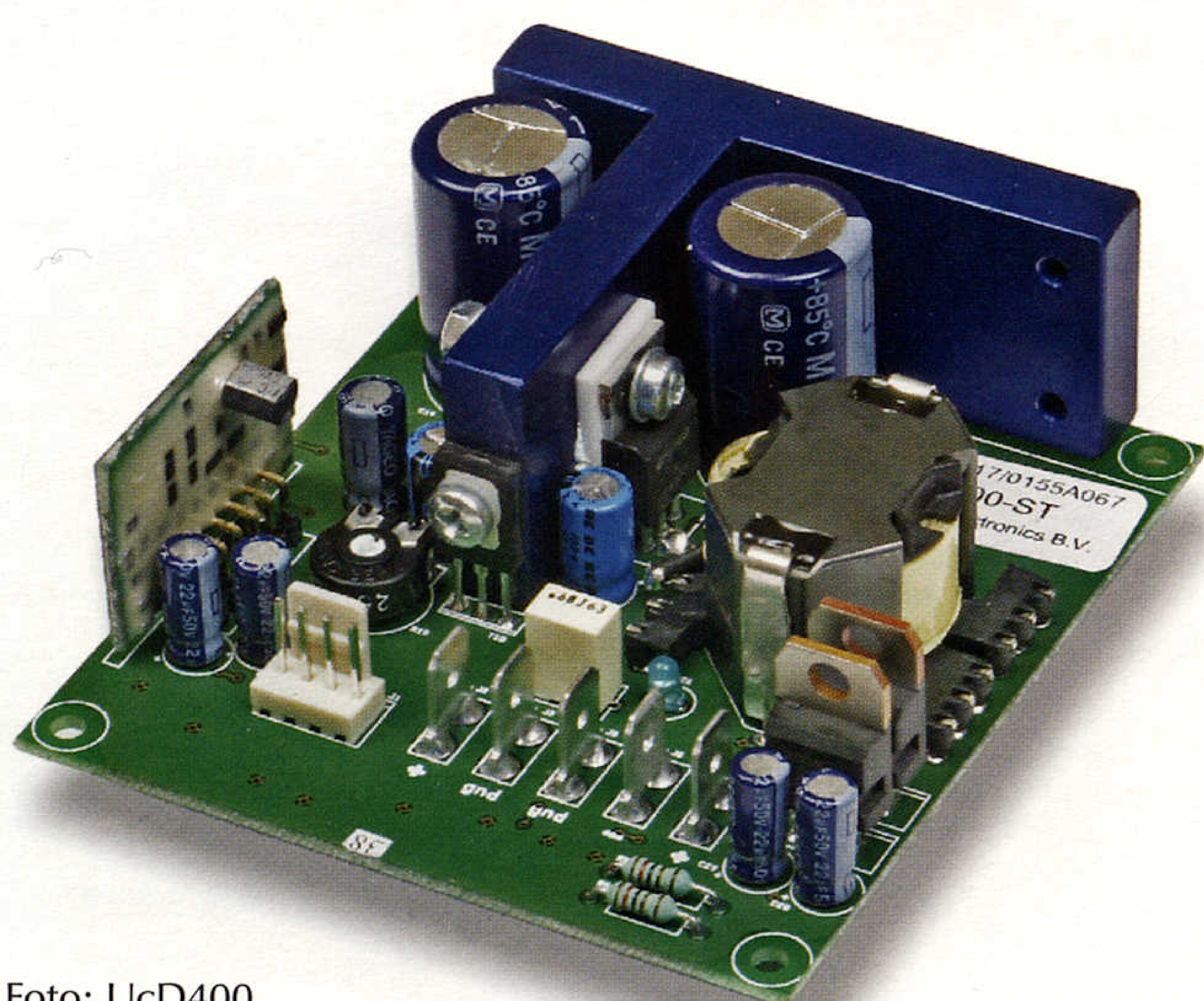


Foto: UcD400
Afmetingen: 83x75x29mm

Klank

- Bijzonder neutrale balans
- Moeiteloze dynamiek tot volle uitsturing
- Rustig, stabiel driedimensionaal stereobeeld

Prestaties

- Vermogen: 400W aan 4Ω. Ook verkrijgbaar in 180W en 700W versies.
- Rendement: 93% bij vol vermogen
- Respons: -1dB bij 30kHz, -3dB bij 50kHz, geheel impedantie-onafhankelijk.
- Dempingsfactor: 400 bij 1kHz, 70 bij 20kHz.
- Vervorming: <0.03% (0.01% typ), niet frequentie-afhankelijk
- Signaal/ruis: 120dB, 20-20kHz ongewogen.
- Wideband conducted EMI: <0dBmA. (RBW=100kHz)
- DC offset max. 20mV.

Andere kenmerken

- Een ongestabiliseerde +/-65V voeding volstaat (UcD400).
- Plopvrije aan/uitschakeling via stuuringang
- Differentiële ingang met goede CM onderdrukking
- Beveiligd tegen overspanning en kortsluiting
- Gewicht: 160g



Hypex Electronics B.V.
Kattegat 8
9723 JP Groningen
+31 50 526 4993
www.hypex.nl
info@hypex.nl

Het hoe en waarom
van correct voeden van schakelingen

PCB voedings-ontkoppeling en layout

DOOR GUIDO TENT

Het onderwerp van voedingsontkoppeling op componentnivo en het juist layouten van een PCB is nog steeds onderwerp van menige discussie. De hier gepresenteerde methodiek vertaalt zich naar bewezen resultaten in de praktijk en rekent af met vele misverstanden waaronder het gebruik van een steraarde.

Inleiding

Het op de juiste wijze ontkoppelen van de voeding(en) van componenten op een PCB is vaak een lastig te nemen hindernis in (zelfbouw)projecten. Dit artikel beschrijft een methodiek die gedreven is door het behalen van EMC richtlijnen als wel het behoud van signaal integriteit en is effectief toe te passen in schakelingen waarin frequenties tot enige honderden MHz een rol spelen. In eerste instantie wordt aangestipt wat er mis is met traditionele methoden, waarna stap voor stap wordt uitgelegd hoe hier betere resultaten geboekt kunnen worden door het gebruik van een andere methodiek. Mits consequent toegepast gaat deze methodiek eveneens hand in hand met het verbeteren van de geluidskwaliteit van zowel analoge als digitale systemen.

De doelen

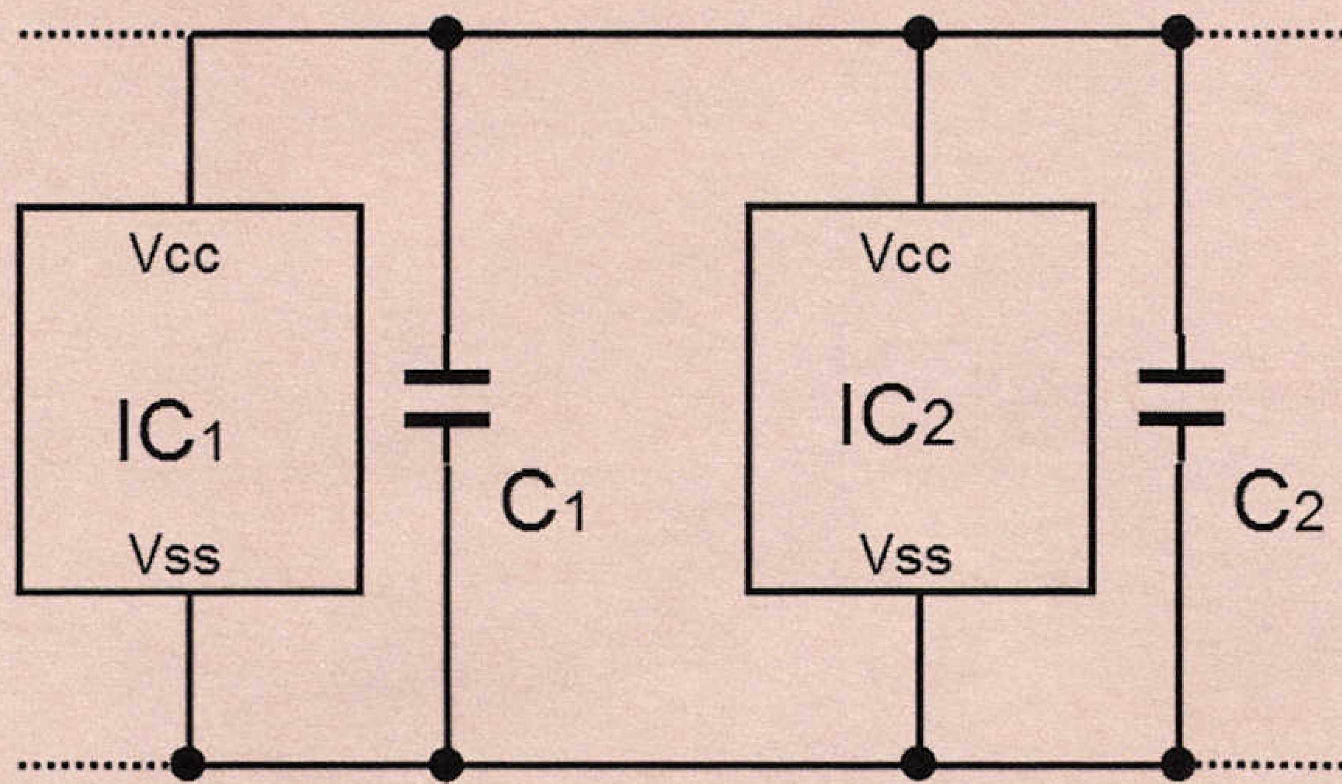
De beschreven methodiek dient een drietal doelen:

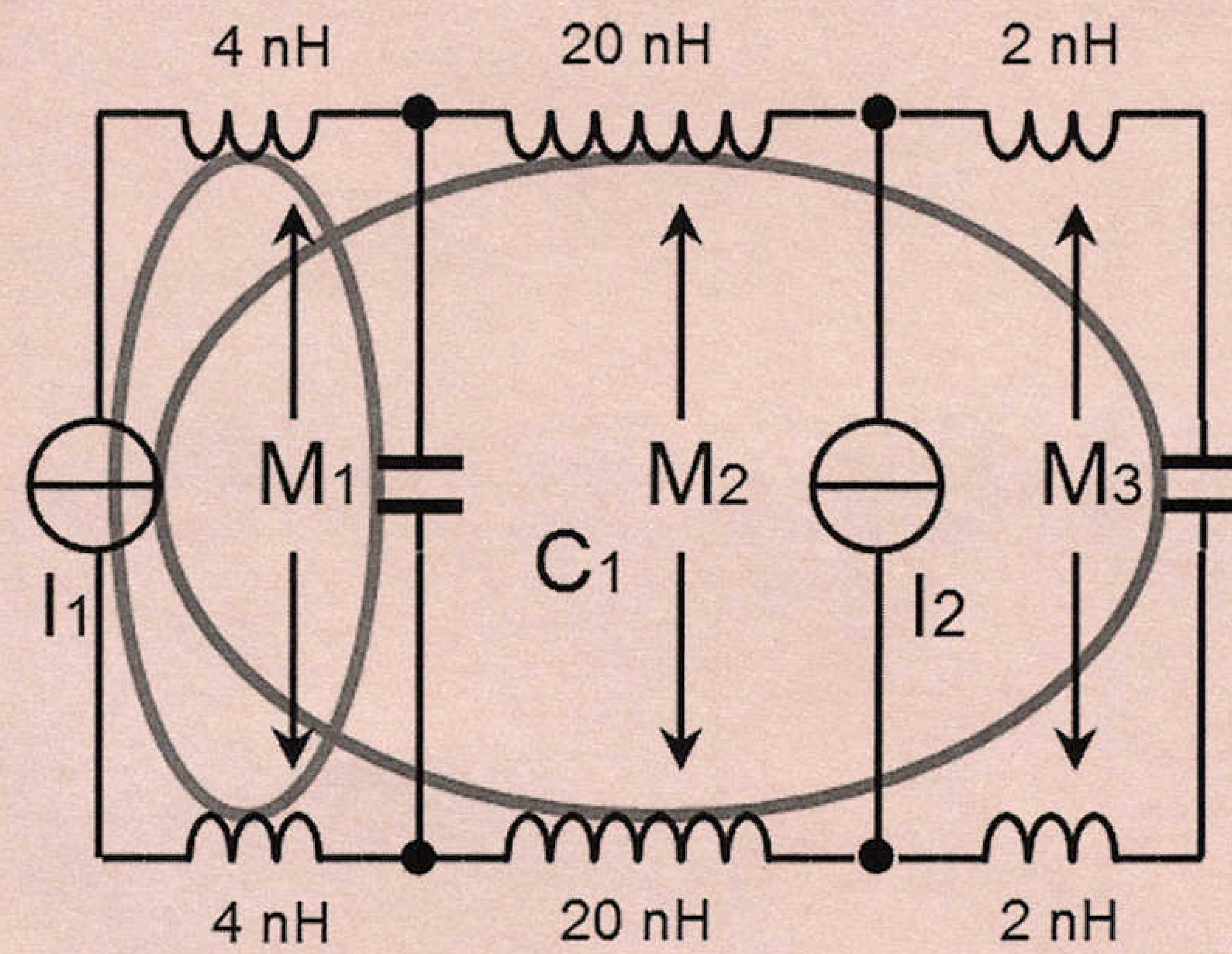
1 – Het verlagen van RF emissie
2 – Het "schoon" houden van het aardvlak
3 – Het verlagen van voedingsoverspraak

1. Het eerste doel dient zowel de wettelijke EMC eisen als het reduceren van interne vervuiling door b.v. HF instraling van de schakelende voeding op een TV tuner. RF-emissie wordt hoofdzakelijk gegenereerd door schakelende systemen zoals voedingen en digitale logica, hoewel de auteur ook wel eens oscillerende voedingsregelaars opgespoord heeft tijdens emissie-metingen.
2. Het tweede doel is met name een interne zaak en is van groot belang omdat diverse subcircuits het aardvlak als referentie gebruiken. Spanningsgradiënten maken dat er geen sprake meer is van equipotentiaal: de referentie is dan zoek.
3. Het derde doel verlaagt met name de mutuele beïnvloeding van circuits via hun voeding(en).

Hoe te bereiken

RF emissie vindt plaats via twee mechanismen. Tot enkele honderden MHz zijn het aangesloten kabels die fungeren als common-mode antennes. Deze kabels wor-



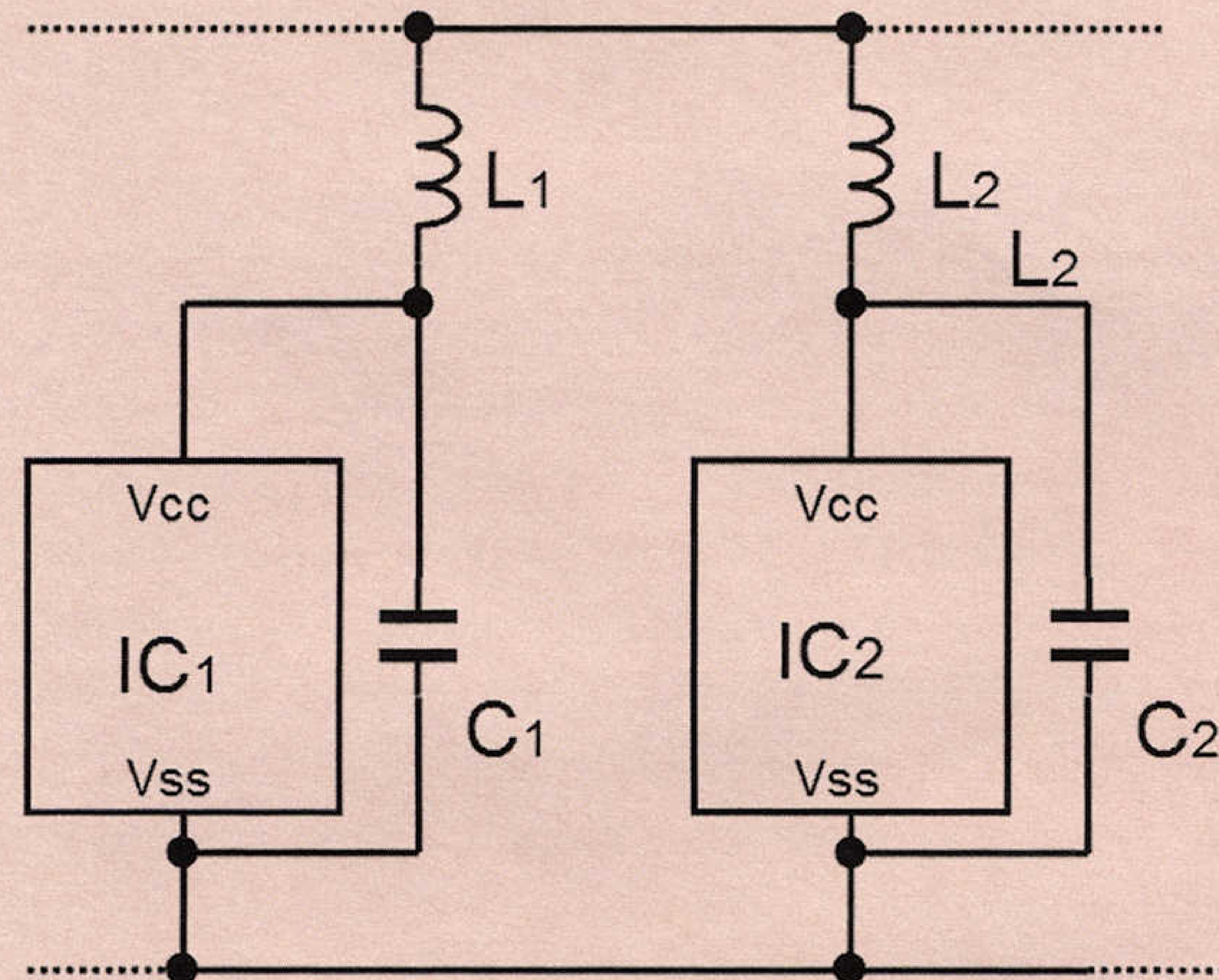


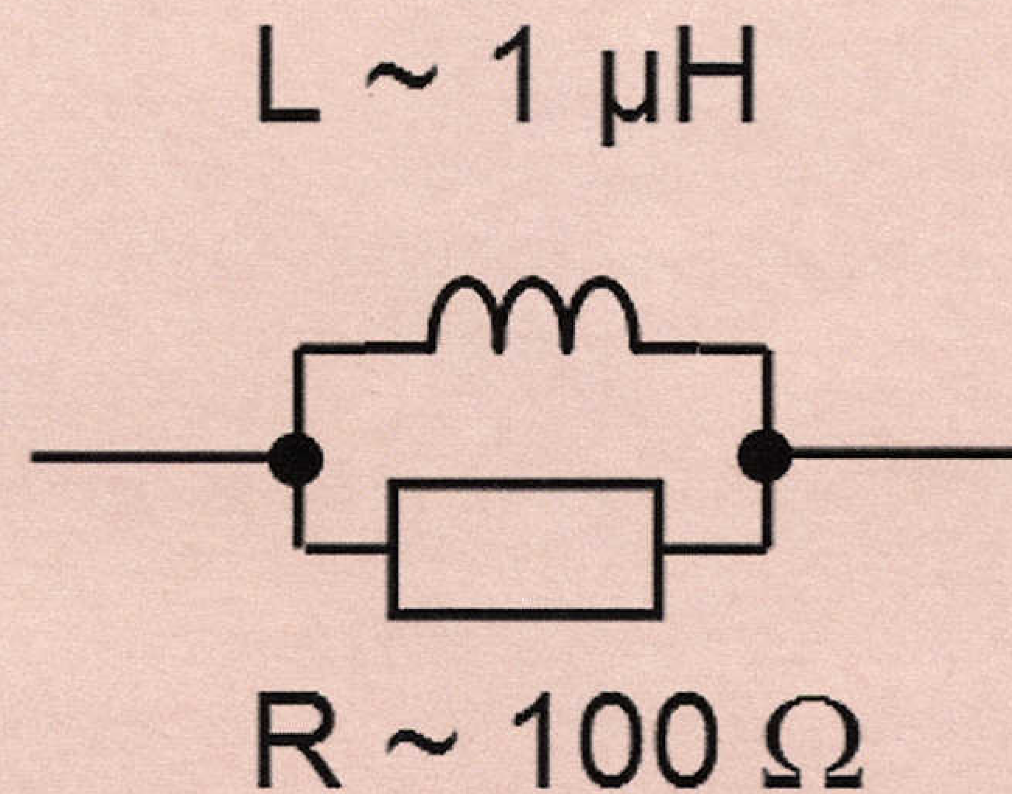
Figuur 1:
reguliere ontkoppeling

Figuur 2:
equivalent RF circuit

Figuur 3:
Verbeterde ontkoppeling

Figuur 4:
Typisch vervangings-schema van een ferriet





den geëxciteerd door de differentiële spanning die over het aardvlak staat t.g.v. stromen door dat aardvlak: het aardvlak heeft een eindige impedantie die toeneemt met de frequentie. Het is daarom zaak de spanning die over het aardvlak ontstaat klein te houden, hiermee dienen we tevens het tweede doel. Het verlagen van voedings-overspraak, het derde doel, zal een automatisch gevolg zijn van de gekozen oplossingsmethode, dit wordt gaandeweg het artikel duidelijk. De hier besproken methode zal zich richten op zowel de ontkoppeling zelf, alsmede de layout van PCB's. Alvorens de strategie geheel uit de doeken te doen, kijken we eerst naar de traditionele wijzen van ontkoppelen en stippen we aan wat daar mis mee is.

Gebruikelijke ontkoppeling

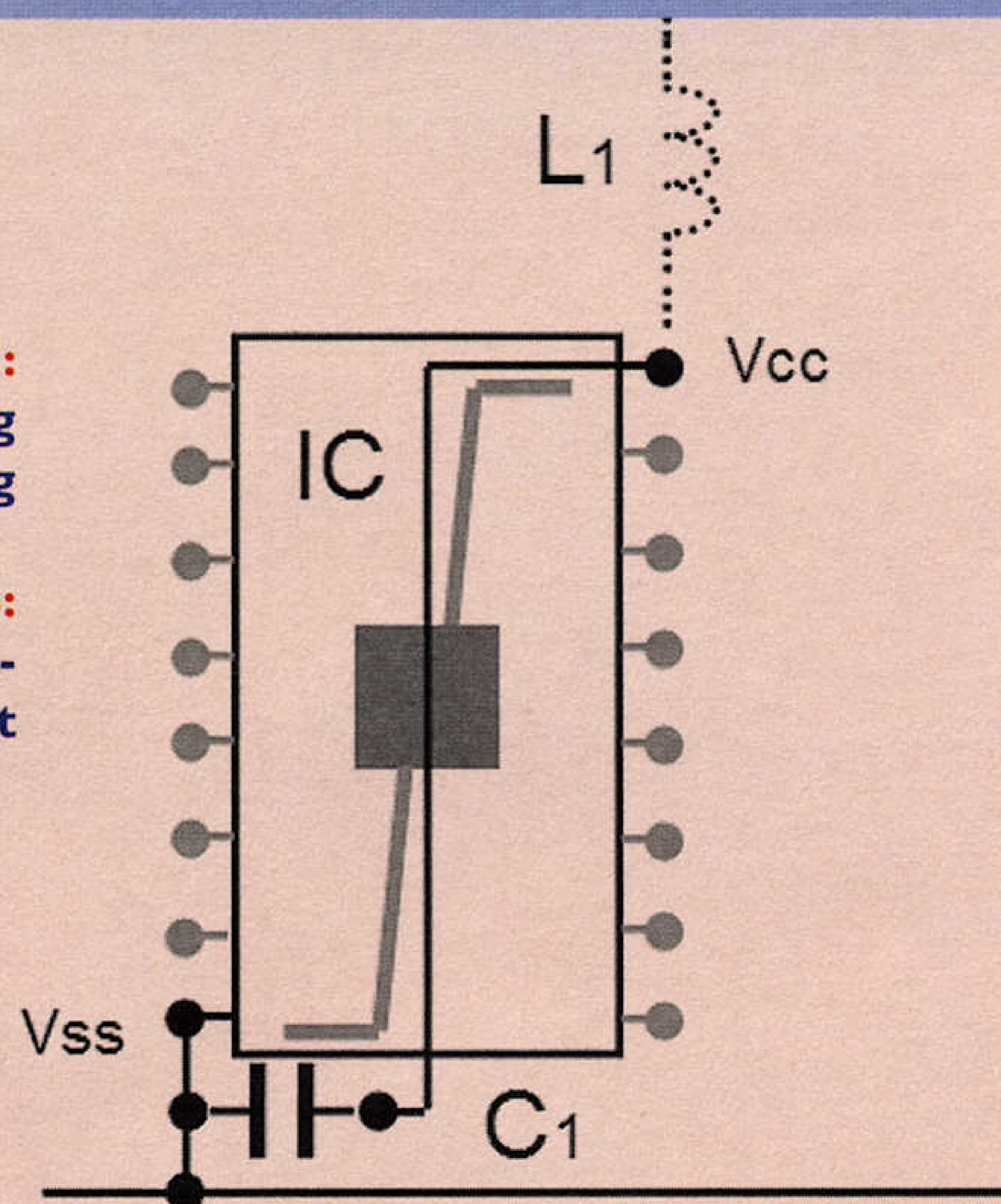
In figuur 1 zien we twee IC's op een gezamelijke voedingsrail. Beiden hebben hun eigen ontkoppel condensator, netjes naast het IC. In figuur 2 staat het hoogfrequent equivalent van het circuit. De sporen op de PCB zijn hier vervangen door zelfinducties. Omdat er bij een dubbellaags PCB een lichte mutuele koppeling (noot 2) is tussen aardvlak en voedingsspoor, is de zelfinductie wat lager dan de gangbare 10nH/cm. We kunnen rekenen met 3nH/cm. De waarden in figuur 2 zijn gangbaar bij gebruik van DIL behuizingen. We kunnen nu enkele stroomlussen onderscheiden. De kleinste is de gewenste lus van IC en eigen condensator, maar een grotere "verborgen" lus is die van IC en de condensator van het nabij gelegen IC. Omdat deze lus groter is, zal men geneigd zijn te zeggen dat daar veel minder RF stromen lopen, omdat stromen altijd op zoek gaan naar die lus die de kleinste oppervlak omsluit (noot 3). De praktijk is echter anders: op het moment dat de totale lusinductie (44nH) en C2 elkaars complex geconjugeerde worden is de lusimpedantie gelijk aan de koperweerstand en zal de stroom in die lus tot hoge waarden groeien. Dit vindt hier plaats op circa 2.4MHz. Afhankelijk van de Q van deze kring zal deze stroom hoog opslingeren en ook nog eens in een grotere lus lopen dan ooit bedoeld was. Het hangt er natuurlijk wel vanaf of IC1 energie in die frequentieband genereert. Een audio DAC bijvoorbeeld bevat spectra vanaf de audio band, naar fs (44.1kHz) tot aan de klokfrequentie van enkele MHz of meer en hun hogere harmonischen tot zeker 100MHz. Moderne schakelingen bevatten vaak een complexe samenstelling van IC's en ontkoppelingen en vele parasitaire lussen zijn daarin aanwezig, met allen hun eigen resonante gedrag.

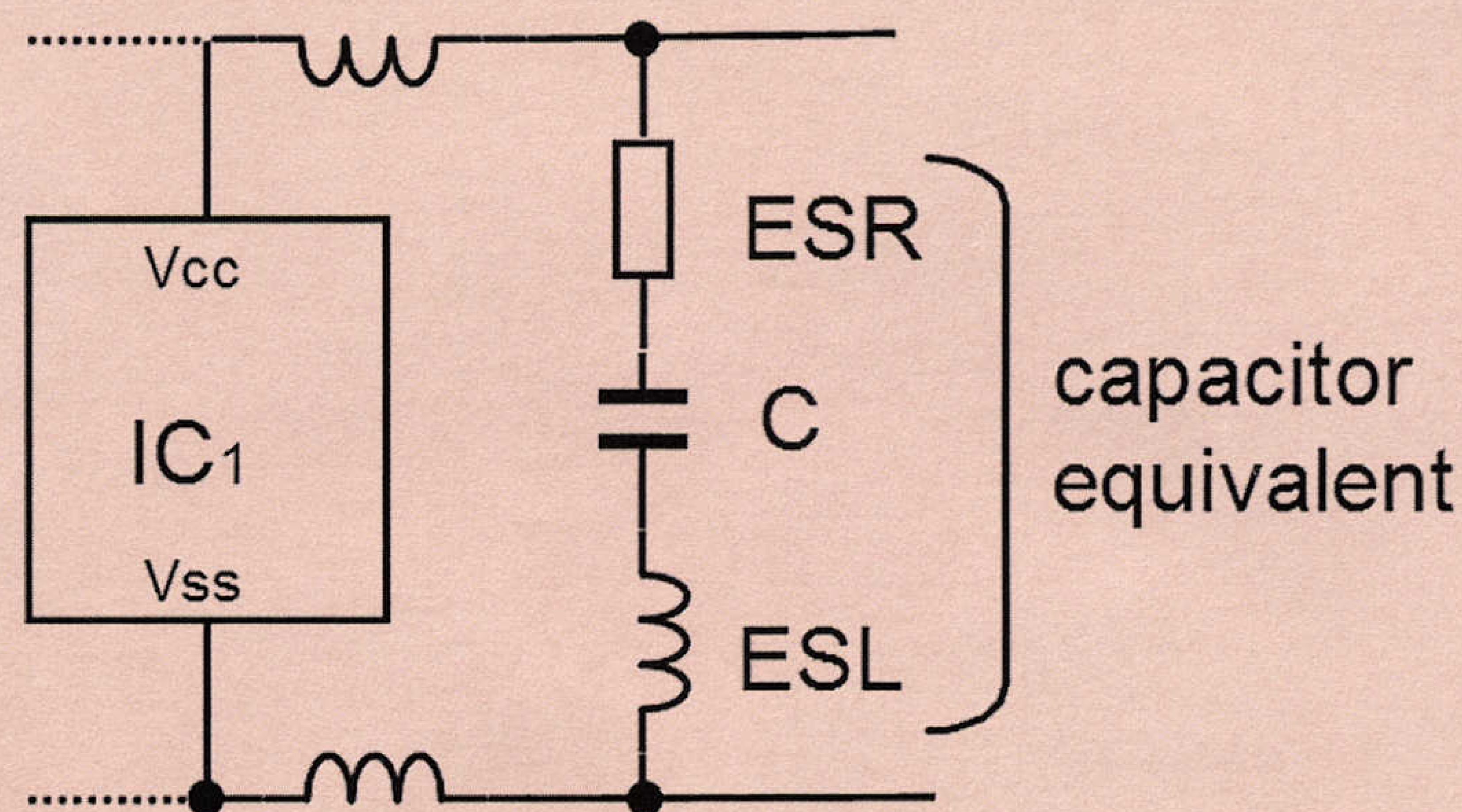
Een verbeterde ontkoppeling

In figuur 3 geven we een suggestie tot het verbeteren van de ontkoppeling. Allereerst zien we zelfinducties L1 en L2 in serie met de voedingslijnen, voordat ze aan een (gezamenlijke) voedingsrail gekoppeld zijn. De impedantie naar die voeding wordt nu bepaald door de waarde van L1 resp. L2, typisch 1 uH. Hierdoor wordt niet alleen de RF-stroom in die lus gereduceerd, maar verlagen we ook de resonantiefrequentie van de kring met de gezamenlijke voedingsrail. Zolang er van RF spoelen gebruik gemaakt wordt bestaat er nog steeds een kans op resonantie. Gelukkig zijn er alternatieven in de vorm van ferrite beads. Ferriet is een materiaal met dissipatief gedrag, dit is terug te zien in het vervangingsschema als een parallelle weerstand (noot 4). Het gevolg van de verlie-

Figuur 5:
De betere plaatsing en bedrading

Figuur 6:
Ontkoppelcondensator equivalent circuit





zen in het ferriet is demping van de kring. Voor gelijkstroom gedraagt de bead zich als een draad, met een gelijkstroomweerstand van enkele tienden ohms. Bruikbare ferrieten worden geleverd door Ferroxcube (vroeger Philips), Murata en anderen. De datasheets geven heldere informatie omtrent impedantie versus bandbreedte. Een impedantie van 100-Ohm is in de praktijk een minimum waarde gebleken. Bedenk dat het spectrum van een blok (digitale circuits) zich uitstrekt tot zeker twintig maal de grondfrequentie, houdt daar rekening mee bij de keuze van ferriet.
Indien de stroomafname beperkt is tot enkele mA voldoet een weerstand i.p.v. een ferriet prima, en is goedkoper. Waardes van 47 of 100-Ohm voldoen, maar één en ander hangt wel af van het stroomverbruik en de minimum voedingsspanning. De fysieke plaats van het ferriet of de serieweerstand is minder kritisch als die van de ontkoppelcondensator, daarom richten we ons eerst op de bedrading van de ontkoppelcondensator.

Bedrading van de ontkoppelcondensator

De klassieke wijze van aansluiten is er één die automatisch volgt uit het plaatsen van de condensator. Meestal is er een aardvlak waar de condensator automatisch mee verbonden wordt. De andere pin van de condensator wordt middels een spoor aangesloten aan de voedingspin van het IC. Als het goed is, is de lus die de ontkoppelstroom maakt geminimaliseerd, maar ook dat gaat nog wel eens mis. Door het gemeenschappelijke deel van het aardvlak loopt nu echter ook de ontkoppelstroom. Daar het vlak een eindige impedantie heeft, wordt er een spanning opgewekt, ter grootte van Ldi/dt. Met een paar mA, nH en ns kom je snel op 25mV (Noot 5). Deze spanning staat in serie (!) met alle lussen die deel uitmaken van dit vlak, maar draagt ook bij aan de spanningsbron die aangesloten kabels exciteert, de signaal integriteit en de eisen aan een lage RF emissie lopen daarmee dus gevaar.

Beter

Het is niet zo moeilijk deze situatie te verbeteren, zie hiertoe figuur 5. We zien dat de aardverbinding direct naar het IC loopt, waardoor de gemeenschappelijke impedantie uit het aardvlak gehaald is. Hierdoor zal ook geen spanning meer in het aardvlak ontstaan. Praktisch is het het fraaist om de ground pin(nen) van het IC direct aan het aardvlak te verbinden, en vanuit iedere groundpin met een separaat spoor naar de groundpin van de condensator te gaan. Helaas bieden vele PCB layout pakketten deze mogelijkheid niet. Waar mogelijk kan men de stroomlus minimaliseren door de andere aansluiting van de ontkoppelcondensator zo te routen dat het spoor de interne stroomlus volgt: onder het IC door dus, maar dan wel graag op een andere laag, waarbij het aardvlak intact wordt gelaten.

Plaatsing van ferriet

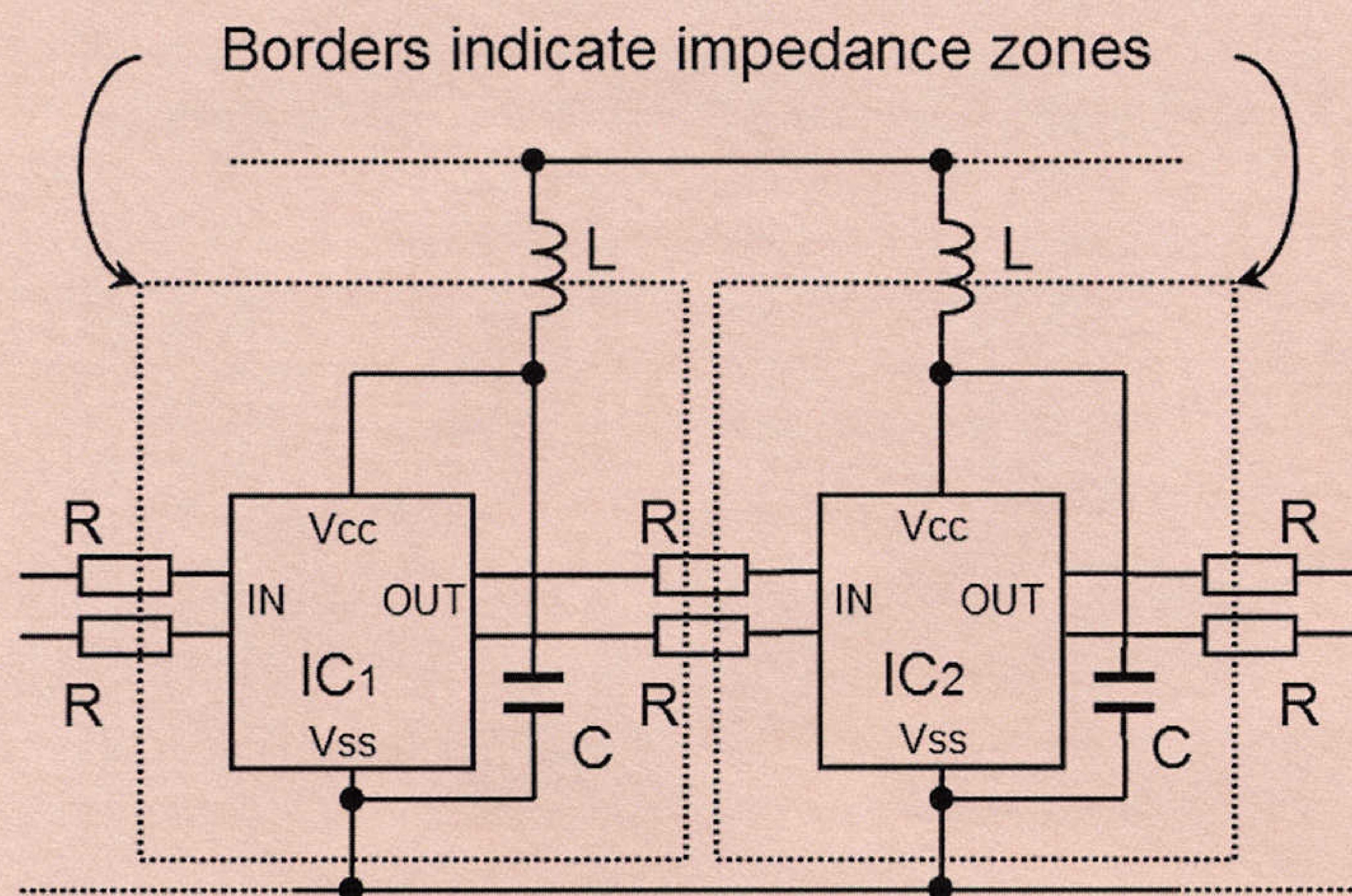
Daar de voedingspin van een IC niet of nauwelijks in spanning zwaait en er een beperkte stroom door de voedingslijn loopt (vanwege de serie impedantie) is de fysieke plek van het ferriet veel minder kritisch, ze kan cm's verderop geplaatst worden. Uit de automotive industrie heb ik zelfs voorbeelden gezien waar de spoel geïntegreerd was op de print, op die wijze word een ferriet uitgespaard.

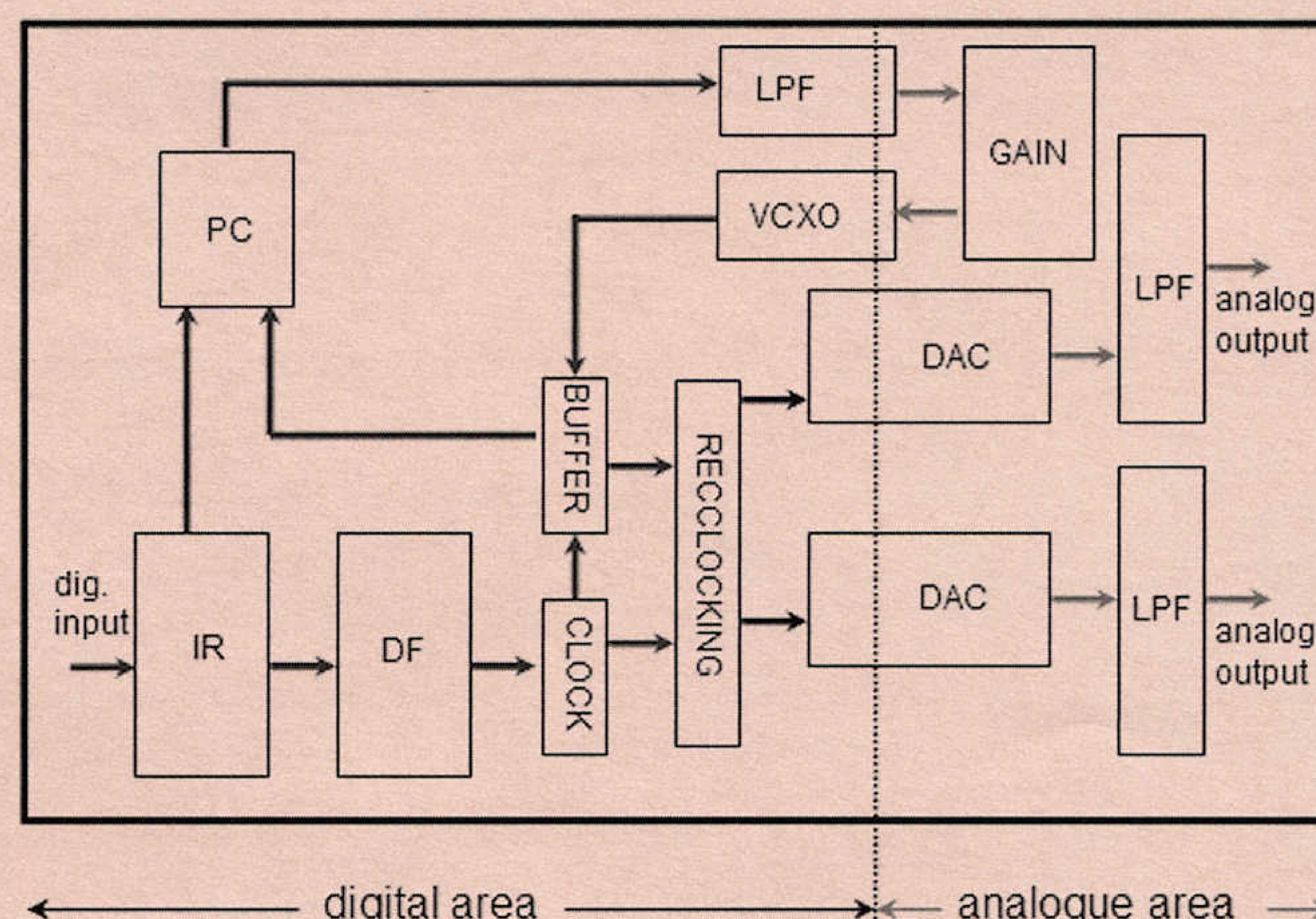
ICs met meerdere aard en voedingspinnen

Gelijke monniken, gelijke kappen: behandel alle aardpinnen gelijk. Indien ze vergezeld gaan van voedingspinnen, is het zaak te achterhalen welke pinnen samen een koppel vormen: de datasheet helpt soms om vast te stellen hoe de ontkoppel condensatoren aan de voedingsparen worden toebedeeld. Vaak zijn er meer aardpinnen dan voedingspinnen. In dat geval wordt het beetje vaag, want we weten niet precies hoe de interne (on-chip) stroomverdeling is tussen die pennen.

On-chip ontkoppeling

Moderne chips hebben soms interne ontkoppelcondensatoren. In zo'n geval mag er geen externe ontkoppelcondensator geplaatst worden omdat de kwaliteit daarvan beter is dan die van de interne zal de RF stroom alsnog extern gaan lopen, hetgeen ongewenst is. In lijn met de ingezette strategie is een ferriet de eerste component die aan de voedingspin komt te hangen. Merk op





Figuur 7: ICs onderling verbonden

Figuur 8: DAC PCB floorplan

dat de filosofie gelijk blijft: vanuit de bron eerst de condensator, dan een spoel richting voeding.

De kwaliteit van de ontkoppelcondensator

Een eerste orde vervangingsmodel van de ontkoppelcondensator is te vinden in figuur 6. De ontkoppelcondensator dient in wezen twee doelen: het lokaal houden van stromen (samen met de serie impedantie richting voedingslijn), en het voorkomen van spanningsvariaties op het voedingspunt. Een lage impedantie dient beide doelen, waarbij men wel oog dient te houden voor de voorkomende frequenties en stromen: Een audio schakeling stelt andere eisen dan een GSM eindtrap. Wel dient hierbij vermeld te worden dat elektrolyten de laatste jaren beter en beter zijn gaan presteren op hogere frequenties. Dat was vroeger ondenkbaar en altijd reden voor een kleine condensator parallel aan de elektrolyt. De zelfinductie van die laatste is tegenwoordig echter zo laag dat ze meestal significant kleiner is dan de inductie van de ontkoppel-lus zelf, goed genoeg dus. Er ligt echter een adder onder het gras wat betreft ontkoppeling d.m.v. elektrolyten. Lagere ESR waarden dragen namelijk steeds minder bij aan de demping van de ontkoppelkring, waardoor opslingeren van die kring weer mogelijk wordt. Dat kan op zijn beurt weer aanleiding geven tot verhoogde RF-emissie op die ene frequentie. Kringen kunnen gedempt worden middels een parallel- of serieweerstand. Dat kan een echte weerstand zijn, maar soms wordt opzettelijk een elco met relatief hoge ESR gekozen. Parallel daaraan zien we dan in dit geval wel een keramische condensator om voor hoogfrequent toch voldoende lage impedantie te garanderen.
Het wordt snel duidelijk dat de optimale ontkoppeling per situatie bekeken dient te worden. Generieke adviezen zijn hier niet op z'n plaats, maar simulaties en metingen geven hier vaak uitsluitsel.

Andere stroomlussen

Tot nu toe hebben we enkel ontkoppelstromen bekeken. Omdat schakelingen onderling signalen uitwisselen, levert dat ook de nodige stromen op. Omdat deze in lussen lopen, zullen ze veelal sluiten via het aardvlak en daar, gegeven een eindige impedantie, spanning opwekken. Daar dat in strijd is met de gestelde doelen, is het tijd daar iets aan te doen. We hebben daartoe de volgende mogelijkheden tot onze beschikking:

1 - Reduceer de stromen
2 - Reduceer de frequentie inhoud van die stromen
3 - Reduceer het omsloten lusoppervlak
4 - Werk gebalanceerd

1. De in het aardvlak opgewekte spanning is recht evenredig met de stroomgrootte. Reduceer deze tot hetgeen minimum nodig is.

2. Daar de impedantie van het aardvlak toeneemt met de frequentie, is het zaak om niet breedbandiger te werken dan strikt noodzakelijk. Bewaak hierbij specificatie als jitter en susceptibiliteit niveaus aan ingangen: Deze parameters lopen meestal gevaar als de bandbreedte te ver afneemt. Filtering kan vaak al efficiënt plaatsvinden door een serie weerstandje op te nemen aan de bronzijde. De waarde van zo'n weerstand varieert tussen 10-Ohm en 1K-Ohm, afhankelijk van de gewenste bandbreedte en de capaciteit die gestuurd dient te worden. De interfacing tussen bijvoorbeeld IC's komt er dan uit te zien als in figuur 7.

3. Door lussen klein te houden en met name te zorgen voor zoveel mogelijk elektromagnetische koppeling tussen signaal en aarde, zal de spanning in het aardvlak afnemen. Dit is te bereiken door gebruik van meerlaags printen en de stroom toe te staan daar te lopen waar je hem hebben wilt. Onderbrekingen in het aardvlak zijn hierbij funest. Daar waar signaalstromen lopen hoort de retourstroom exact onder dat spoor in het aardvlak te kunnen lopen. Verder helpt het enorm door schakelingen logisch bijeen te houden, waarbij snel schakelende circuits dicht bij elkaar blijven, en minder kritische zaken verder weg geplaatst kunnen worden. Zo kan het regeldeel van een discrete voedingsregelaar best wat verder weg staan zolang de vermogenstransistor en buffer-elco maar dichtbij de gebruiker staan.

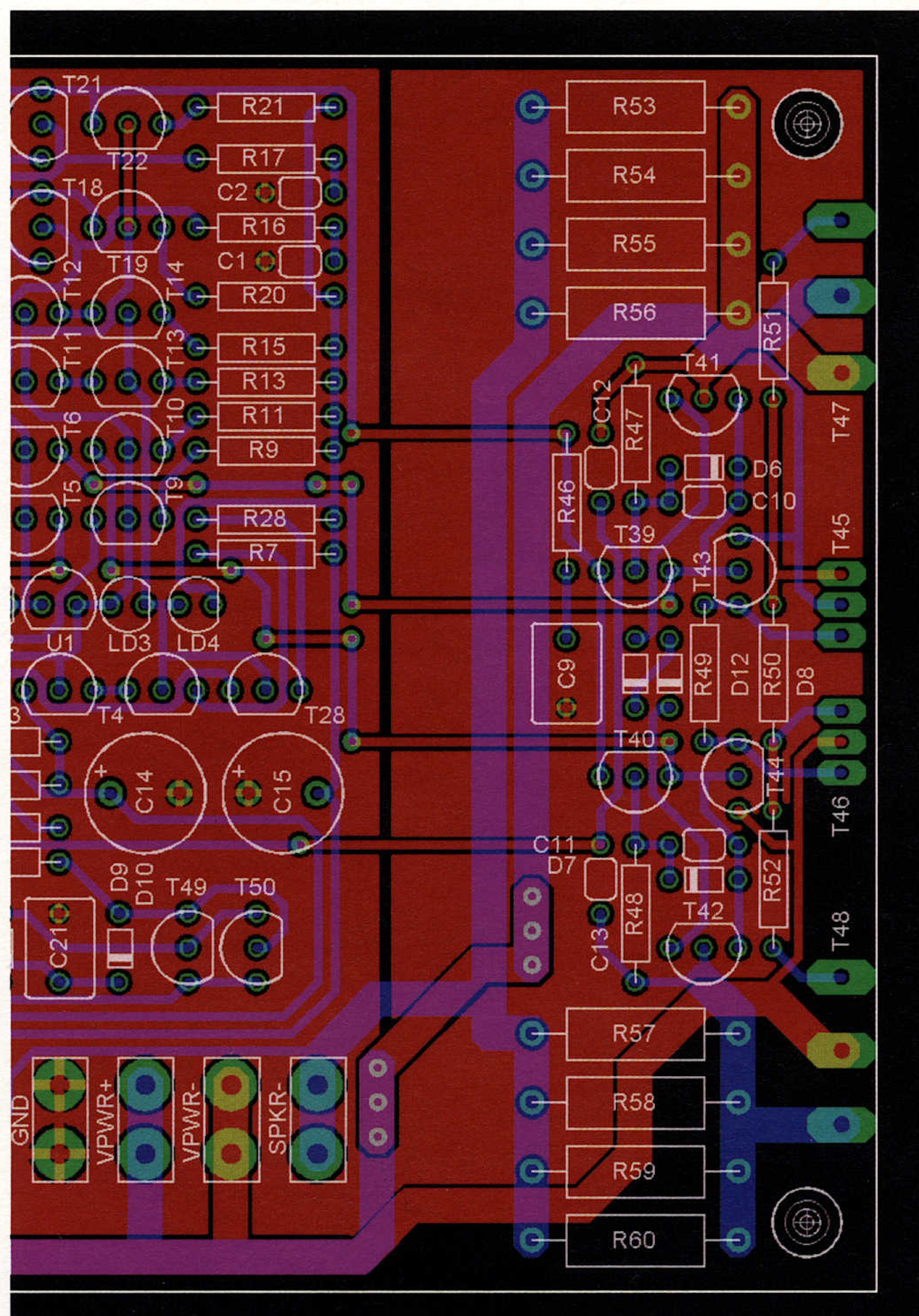
4. Voor frequenties in tientallen MHz wordt het balanceren al lastig. Het middel wordt dan snel erger dan de kwaal, omdat de uit onbalans resulterende stromen nog hogere frequentie componenten bezitten.

Component plaatsing

Ondanks verregaande integratie bestaan de meeste schakelingen toch uit vele componenten die allen hun functie hebben. Zo worden schema's ook getekend, maar dat is zelden een goede indicator voor het juist plaatsen van alle componenten. Om te komen tot een juiste plaatsing is het zaak de schakeling op te delen in essentiële functies. Als voorbeeld is een audio DA omzetter genomen. Deze heeft een typisch digitaal en analoog gedeelte. Een DAC bestaat gewoonlijk uit een input receiver (IR) om klok en data te herwinnen uit SPDIF, een digitaal filter (DF) en DAC chips met uitgangsfilters naar de analoge uitgangen. In dit voorbeeld is tevens een secundaire PLL toegevoegd, die de klokjitter verder verlaagd. Deze PLL bestaat uit een fase vergelijker (PC), een laagdoorlaat filter (LPF), een gain blok en een VCXO. Er kan een lijn getrokken worden tussen typisch digitale en analoge functies. Een logische plaatsing volgens die scheiding is hieronder afgebeeld: Hou daarbij rekening met het feit dat de meeste DAC chips een pinning hebben die overeenstemt met de gewenste logica, dus kan men eenzelfde scheidslijn trekken tussen analoog en digitaal. Het laagdoorlaatfilter filter heeft een "digitale" ingang (de faseinformatie van de comparator) en een analoge uitgang (het VCXO stuursignaal). De VCXO heeft een analoge ingang en een digitale uitgang (de hoofdklok). Beide onderdelen overlappen dus het grensvlak.

Als alle componenten eenmaal logisch geplaatst zijn, is het bedraden meestal niet zo moeilijk meer. Zorg dat alle signalen die het grensvlak oversteken een serie impedantie in zich hebben opgenomen, conform figuur 7. De diverse voedingsregelaars zijn geplaatst bij de circuits die ze voeden. Vaak kunnen ze aan de randen van de print gezet worden, tenzij het een shuntregelaar is, in dit geval dient het shuntende deel dichtbij het IC te staan wat ze voedt.

Figuur 9: Grote lussen



Printlagen

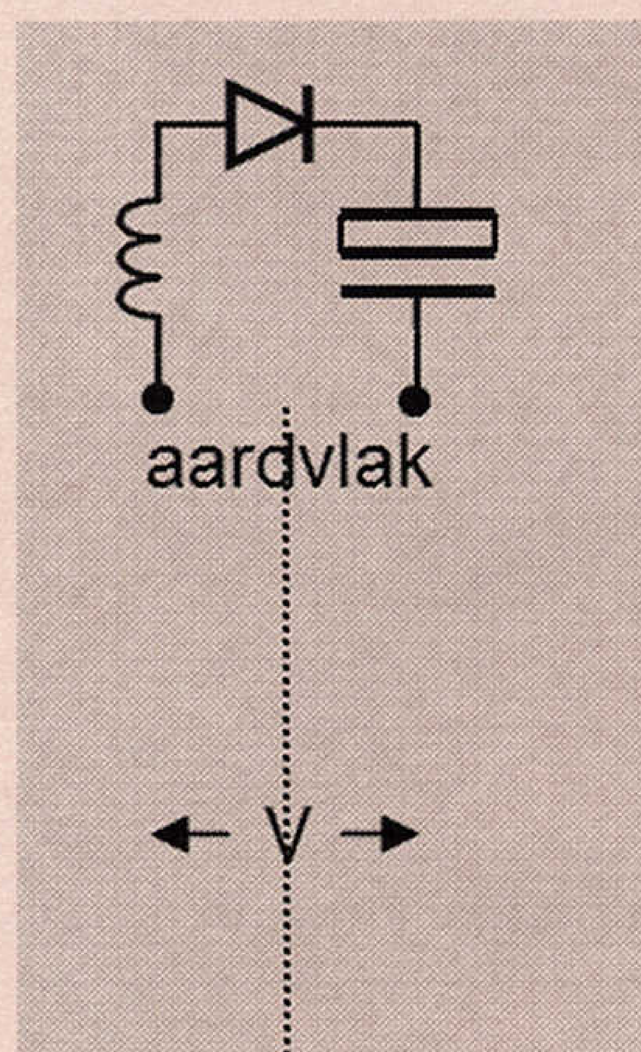
Bij voorkeur ligt er een aardvlak aan de componentzijde. Het volgende vlak is een signaallaag. Met de beschreven methode in het achterhoofd weten we dat alle signaalstromen hun retour vinden via het aardvlak, op deze wijze blijven de lussen zo plat mogelijk. In het geval van een 4-laags print is de daaropvolgende laag een aardvlak en de vierde laag een laag voor voeding en laagfrequentere signalen. Beide aardvlakken dienen met elkaar verbonden te worden op iedere plek waar er een verbinding is van componenten met de eerste aardlaag.

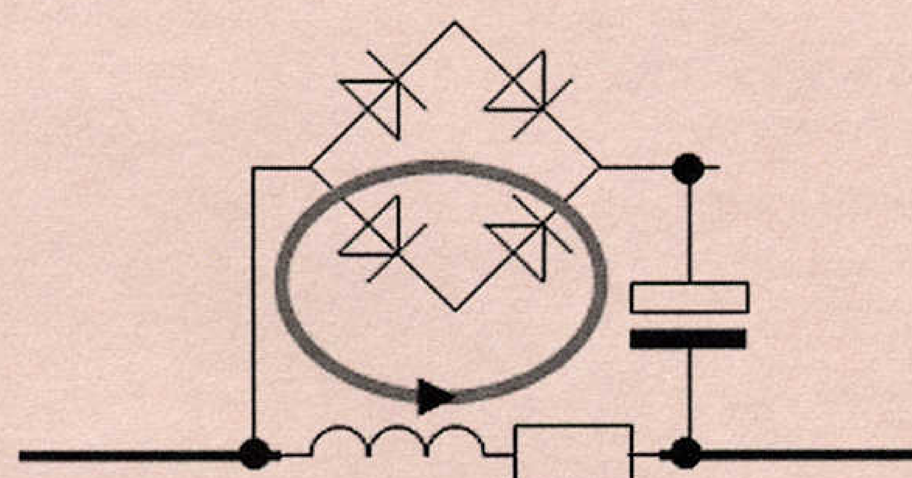
Gebruik geen voedingsvlak, da's niet nodig omwille van optredende stromen (enkele ampères door een spoor van enige mm's is geen probleem) en brengt het gevaar dat voeding en aardvlak in resonantie komen ten gevolgen van de onderlinge capaciteit en zelfinductie: zo'n combinatie resoneert uitstekend op enkele honderden MHz en vormt dan een effectieve antenne.

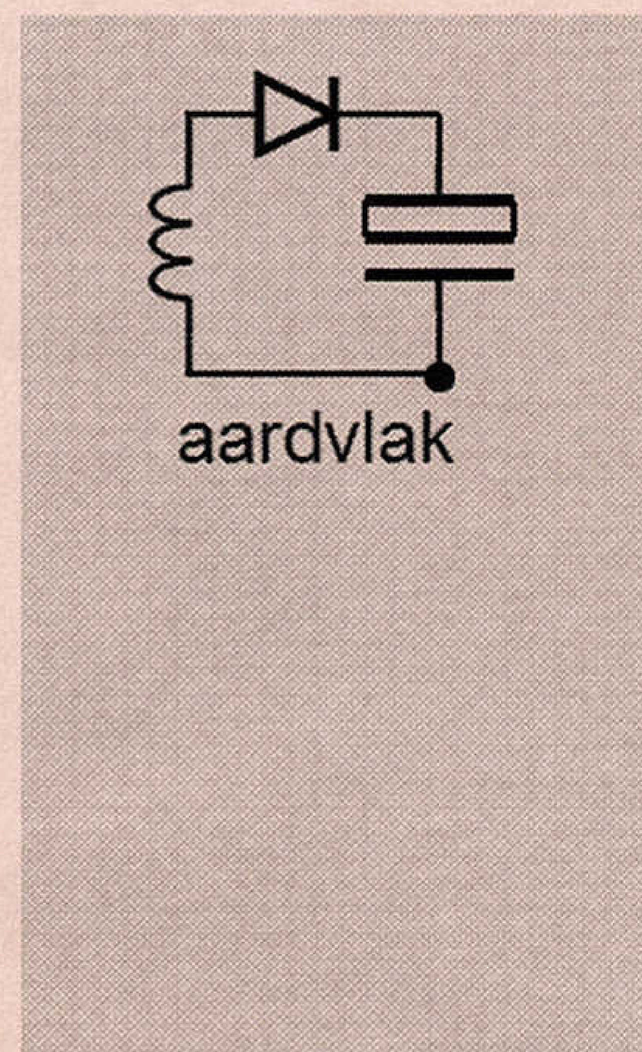
Aardvlak

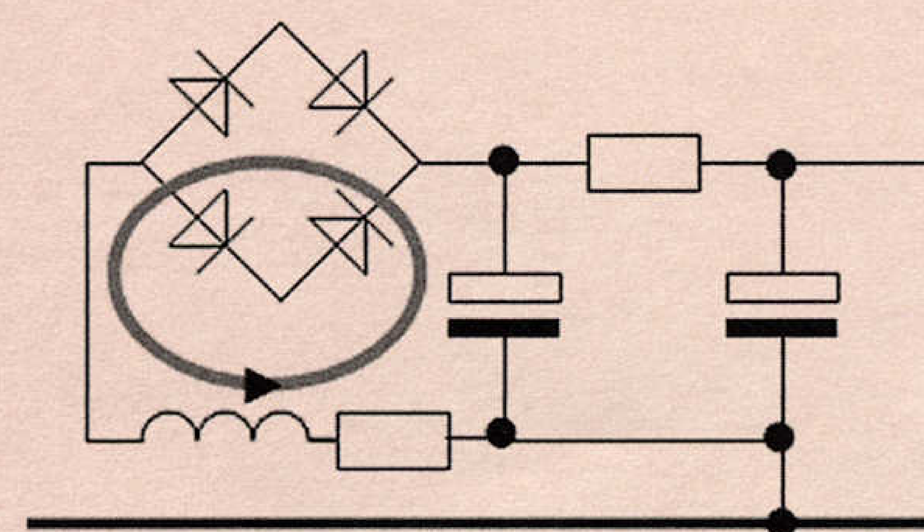
In de diverse literatuur vindt men met regelmaat discussies over gescheiden aardvlakken (analoog en digitaal), die dan op één enkele plek met elkaar verbonden worden, namelijk bij de voedingsconnector. Het vergt niet veel inzicht om te zien dat alle signaalstromen onnodige grote lussen gaan bewandelen, hetgeen volledig in strijd is met de te bereiken doelen. Ter illustratie het volgende voorbeeld: een DA converter van een gerenommeerde hifi fabrikant had analoge en digitale aarde van de DAC chip bij de gemeenschappelijke voedingselco aaneengesloten. Dat gebeurde via de doormetalisering van de aardpen van die elco. Omdat daar stromen lopen, verslechterde die verbinding in de loop der tijd. Na jaren was deze zo slecht dat er maar liefst één volt verschil optrad. Gescheiden aardvlakken bij een AD of DA converter. Op zich valt hier iets voor te zeggen, ware het niet dat er natuurlijk andere stromen zijn die ook van het een naar het andere vlak (willen) lopen. Deze stromen lopen wederom in grotere lussen dan strikt noodzakelijk en dragen daardoor bij aan een spanningsgradiënt onder de converter. Figuur 9 toont een layout waarbij beide aardes op een plaats verbonden zijn, en waar verderop nog een aantal sporen de onderbreking oversteken. Dit voorbeeld laat prima zien hoe lussen onnodig groot kunnen worden.

Kortom, meer nadelen dan voordelen en dus geen goede oplossing. Een goed voorbeeld is een recente modificatie van een evaluatie board van een beroemde chip fabrikant op basis van de richtlijnen uit dit artikel. De RF emissie daalde met 30dB en jitter en audio prestaties namen zienderogen toe.









Figuur 10: Spanningsinductie door gelijkrichter

Figuur 11: Juiste aansluiting gelijkrichter

Met de beschreven layout en ontkoppelmethode houden we alle stromen en hun frequentie inhoud in de hand, zo ook die door het aardvlak. Het resultaat is een equipotentiaal vlak dat prima aan één stuk gehouden kan worden.

Steraarde

In dit kader een kort woord over steraarding, waarbij alle punten die met aarde verbonden dienen te worden naar een centrale aansluiting gevoerd worden. De spanningsverschillen op dat punt zelf zijn inderdaad nul, maar iets verderop is het einde zoek, ten gevolge van de impedantie van die bedrading en onnodig grote lussen waarin stromen lopen. Zoals altijd is het inzichtelijk om de stroomlussen (signaal, voeding) te denken: het wordt dan gauw duidelijk dat steraarding tot hopeloos grote lussen leidt, waarin inductie van laagfrequent magneetvelden niet al te moeilijk is en in het geval van versterkers eenvoudig brom oplevert.

Gelijkrichters

Het voert te ver om alle mogelijke stoorbronnen te behandelen, maar gelijkrichtdioden zijn notoire vervuilers. Onlangs stuitte de auteur op jitter bijdragen uit het lichtnet, ter grootte van tientallen fs (de ruisvloer lag een stuk lager, anders zouden ze niet zijn opgevallen). Na analyse bleek dat er een minieme spanningsgradiënt over het aardvlak verantwoordelijk was voor inductie van stoorspanning via de stuuringang van de spanningsgestuurde oscillator. Deze gradiënt werd 15-cm verder opgewekt in het aardvlak, door de gelijkrichter en stond dwars op de print. Het mechanisme is uit de doeken gedaan in figuur 10.
De piekstromen van de dioden vermenigvuldigd met de impedantie van de print levert een spanning V op. Deze kan gezien worden als een bron met zeer lage impedantie, die de twee helften van het aardvlak exciteert. De oplossing is zowel simpel als goedkoop: Probeer iets dergelijks niet met meer koper te lijf te gaan, maar zorg dat zo'n stroomvoerende lus geen deel meer uitmaakt van het aardvlak (analoog aan het elimineren van de ontkoppelstroom uit het vlak). De verbinding vanuit trafowikkeling/gelijkrichtbrug wordt dus geïsoleerd van het vlak, en de eerste verbinding met het vlak is de min pool van de elco, volgens figuur 11.

Voedingsoverspraak

Het gebruik van hoge impedanties naar de voedingsrail(s) en lage impedantie naar aarde leidt automatisch tot verhoogde isolatie van diverse schakelingen naar de voeding en dus van elkaar. Het gebruik van shuntregelaars is hierbij een prima voorbeeld: een stroombron richting hoofdvoeding en een spanningsbron naar aarde.

Buizenversterkers

Ook in buizenversterkers wordt een dergelijke methodiek toegepast: lokale ontkoppel- elco's naar aarde en weerstanden of inducties naar de voedingsrail. Ook hier het bijkomende voordeel dat de voedingsstromen door de aardverbindingen nagenoeg nul zijn: er lopen enkel signaalstromen en derhalve kan de aardverbinding dun zijn: desnoods gemaakt van hetzelfde materiaal als de signaalbedrading.

Noot 1. Aarde heeft in deze context niets met veiligheidsaarde te maken, maar alles met de systeem referentie, de benaming ground of nul worden hier ook wel voor gebruikt.

Noot 2. Stromen lopen in tegengestelde richting, dus de magneetvelden "zien" elkaar deels: het resulterende veld is dan kleiner en dus wordt de effectieve inductie lager.

Noot 3. Minimum flux principe, analoog aan de weg van de minste weerstand voor gelijkstroom, zullen wisselstromen die lus zoeken die de laagst omvatte flux oplevert.

Noot 4. Deze weerstand verlaagt geenszins de elektrische impedantie, maar is enkel in het vervangingsschema aangebracht om de dissipatieve eigenschappen van ferriet te representeren.

Noot 5. Het wordt nu onmiddellijk duidelijk dat het plaatsen van de ontkoppelcondensator bij de voedingspin van een IC helemaal uit den boze is, het gemeenschappelijk deel in het aardvlak wordt zo nog groter.

Noot 6. De aannamen die gedaan worden over zelfinducties van (delen van) een lus zijn valide, zolang die delen klein zijn t.o.v. de golflengte.

Website: http://www.tentlabs.com
Voor meer informatie: guido@tentlabs.com

Losse nummerprijs :

Nederland	€ 6,85
België	€ 7,10

Abonnementen: Riet Maussen
e-mail: abonnementen@elektuur.nl

Bestellingen/verkoop: Nicolle vd Bosch
e-mail: verkoop@elektuur.nl

Standaard-jaarabonnement

Nederland:		€ 72,00
België:		€ 73,50
buitenland:		
priority-mail	Europa	€ 108,00
	buiten Europa	€ 141,00
standard-mail	Europa	€ 96,00
	buiten Europa	€ 114,00
studie-abonnement	Nederland	€ 57,60
	België	€ 58,80
CJP-abonnement		€ 64,80

ABO-PLUS-jaarabonnement

Nederland:		€ 81,95
België:		€ 83,45
buitenland:		
luchtpost	Europa	€ 117,95
	buiten Europa	€ 150,95
surface-mail	Europa	€ 105,95
	buiten Europa	€ 123,95
studie-abonnement	Nederland	€ 67,55
	België	€ 68,75
CJP-abonnement		€ 74,75

Een abonnement kan op ieder gewenst tijdstip ingaan en loopt automatisch door, tenzij het 2 maanden voor de vervaldatum schriftelijk is opgezegd. De snelste en goedkoopste manier om een nieuw abonnement op te geven is die via de antwoordkaart in dit blad. Reeds verschenen nummers op aanvraag leverbaar (huidige losse-nummerprijs geldt).

Adreswijzigingen s.v.p. minstens 3 weken van tevoren opgeven met vermelding van oude en nieuwe adres en het abonneenummer.
De afdeling klantenservice is bereikbaar: maandag t/m donderdag van 08.30 tot 17.00 uur, vrijdag van 08.30 tot 12.30 uur

Voor al uw vragen over abonnementen, kunt u deze afdeling bellen onder nummer 046 - 4389424.

Voor bestellingen belt u : 046-4389414

Voor het afhandelen van uw abonnement of bestelling vraagt Uitgeversmaatschappij Segment uw persoonsgegevens. Het klantenbestand van Segment is als persoonsregistratie aangemeld bij het College Bescherming Persoonsgegevens onder nr. M 1024093.

De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit doorgeven aan:
Uitgeversmaatschapppij Segment, Afdeling lezersmarkt, Postbus 75, 6190 AB Beek.

Prijswijzigingen voorbehouden.

COLOFON

Elektuur Audio Special
December 2006

Elektuur wil mensen inspireren om zich elektronica eigen te maken door het presenteren van bouwbeschrijvingen en door het signaleren van ontwikkelingen in de elektronica en technische informatica.

Elektuur is een uitgave van Segment B.V., Special Interest Media
P. Treckpoelstraat 2-4, Beek (Lb.)
Postbus 75, 6190 AB Beek, Nederland
Tel.: +31 (0)46- 4389444,
Fax +031 (0)46-4370161

Elektuur verschijnt elf maal per jaar, in juli/augustus verschijnt een dubbelnummer.
Onder de naam Elektor verschijnen Engelstalige, Franstalige en Duitstalige edities. Elektor is in meer dan 50 landen verkrijgbaar.

Internationaal hoofdredacteur:
Mat Heffels

Redactie Elektuur Special:
Femke van der Putten,
Menno van der Veen (freelance),
Sander Sassen (freelance)

Redactie: Harry Baggen (hoofdred.),
Thijs Beckers (redactie@elektuur.nl)

Internationale redactie:
Jan Buiting, Ernst Krempelsauer,
Jens Nickel,Guy Raedersdorf

Redactiesecretariaat:
Hedwig Hennekens

Technische redactie:
Ton Giesberts, Paul Goossens ,
Luc Lemmens, Christian Vossen

Vormgeving:
Option One, Amsterdam

Directeur:
Paul Snakkers

Uitgever Elektuur Special:
Ferdinand te Walvaart

Marketing:
Carlo van Nistelrooy

Hoofd klantenservice:
Margriet Debeij

Abonnementen:
Riet Maussen
(abonnementen@elektuur.nl)
Tel. 046-4389424

Bestellingen:
Nicolle v.d. Bosch
(verkoop@elektuur.nl)
Tel. 046-4389414

Hoofd advertentieverkoop:
Frank van de Raadt
(advertenties@elektuur.nl)
Tel. 046-4389444

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kostenloos verkrijgbaar.
Druk: Printec Offset, Kassel (D)
Distributie: Aldipress, Utrecht



Lees Elektuur

platform voor elektronica

NEEM NU EEN JAARABONNEMENT OP ELEKTUUR EN ONTVANG GRATIS EEN LUXEON LED ZAKLAMP T.W.V. € 49,95!*

Kies uw eigen abonnement:

- **Standaard jaarabonnement**
  11 nummers (incl. de dubbeldikke juli/augustus editie) voor € 72,00 (België € 73,50).
  U bespaart € 8,80 t.o.v. de losse nummerprijs!

- **Plus jaarabonnement**
  11 nummers (incl. de dubbeldikke juli/augustus editie) + de jaargang CD-ROM 2006 voor € 81,95 (België € 83,45).**
  Een voordeel van bijna € 30,00!



* Zolang de voorraad strekt. Indien de Luxeon LED zaklamp niet meer leverbaar zou zijn, ontvangt u een ander welkomstgeschenk van dezelfde waarde.

** De jaargang CD-ROM 2006 wordt u na verschijning (februari 2007) automatisch toegezonden.

Nu abonneren?

Ga naar www.elektuur.nl/abo of bel met de abonnementenafdeling van Elektuur +31 (0)46 4389424

elektuur
platform voor elektronica

UL40-S2 buizenversterker bouwpakket

Designed by

Vanderveen



UL40S2

Bouw uw eigen HIGH-END buizenversterker zelf.
Dit complete bouwpakket wordt geleverd met een uitgebreide STAP-VOOR-STAP-bouwhandleiding, zodat het samenbouwen éénvoudig wordt en daarmee voor iedereen haalbaar. Leen ons DEMO-exemplaar kostenloos en ervaar de kwaliteit van deze TOP-KLASSE buizenversterker. Kijk voor meer info op www.amplimo.nl



UL40S2P

De UL40S2 is ook leverbaar als eindversterker. Deze kan met elke voorversterker worden aangestuurd. De versterker kan evenals de UL40S2 in ultra-lineaire en in triode-instelling worden opgebouwd.
Als eindbuis kan worden gekozen voor EL34, 6550 of KT88.

Het Vanderveen MCML05 voorversterker bouwpakket komt later dit jaar beschikbaar.
Deze HIGH-END buizen-voorversterker heeft een hoofdtelefoonaansluiting, balansregeling en is voorzien van een MC en MM voortrap voor platenspelers. Houdt onze website in de gaten.



MCML05

Amplimo levert een zeer grote reeks ringkerntransformatoren direkt uit voorraad. Ook voedings- en uitgangstrafo's voor buizenversterkers, electronenbuizen, buisvoeten, Jensen audio-condensatoren, enz, enz



Industrieweg 14
7161 BX NEEDE

Tel.: 0545-283456
Fax.:0545-283457

email: info@amplimo.nl
internet: www.amplimo.nl